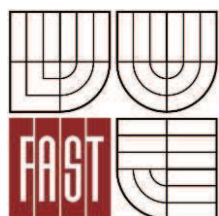




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

OPTIMALIZACE VZDUCHOTECHNIKY WELLNESS OPTIMIZATION OF WELLNESS AIR CONDITION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL KYSILKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ONDŘEJ ŠIKULA, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. MICHAL KYSILKA
Název	Optimalizace vzduchotechniky wellness
Vedoucí diplomové práce	doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	11. 1. 2013
V Brně dne 31. 3. 2012	

.....
doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

Zásady pro vypracování

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení

Návrh technického řešení ve 2 až 3 variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

Ideové řešení navazujících profesí TZB (ZTI, UT, VZT) v zadané budově

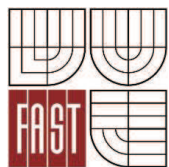
Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

C2. Algoritmizace, modelování, aplikace výpočetní techniky

Teoretické řešení úlohy, aplikace software pro modelování fyzikálních dějů

Předepsané přílohy

.....
doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.
Autor práce	Bc. MICHAL KYSILKA
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav technických zařízení budov
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Název práce	Optimalizace vzduchotechniky wellness
Název práce v anglickém jazyce	Optimization of wellness air condition
Typ práce	Diplomová práce
Přidělovaný titul	Ing.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	
Anotace práce	Tématem diplomové práce je optimalizace návrhu distribuce vzduchu v bazénové hale s ohledem na odpar z volné vodní hladiny dle předem určených kritérií s využitím softwaru pro CFD simulace. Problematikou odpařování se zabývá i část experimentálního měření, v níž byl určen vlastní vztah popisující tento fyzikální jev a porovnán s již známými algoritmy. Nastiňuje i možnost uplatnění nové formule v CFD softwarech.
Anotace práce v anglickém jazyce	The theme of diploma thesis is a design optimization of air distribution in swimming-pool hall with regard to free water surface evaporation. This problem was solved according to determined criterions with the aid of CFD simulation. Experimental measurement part of the thesis deals with evaporation problems where own formula for this physical phenomenon is determined. This formula is compared with already known algorithms. Author suggests that such formula might be integrated in CFD software.
Klíčová slova	Vzduchotechnika, wellness, distribuce vzduchu, odpařování, konvekce, radiace, přestup vlhkosti, hmotnostní tok, vodní pára, software AnsysFluent, CFD simulace
Klíčová slova v anglickém jazyce	Air conditioning, wellness, air distribution, evaporation, convection, radiation, moisture transfer, volume flow, water vapour, software AnsysFluent, CFD simulation

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11.1.2013

.....
podpis autora
Bc. Michal Kysilka

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11.1.2013

.....
podpis autora
Bc. Michal Kysilka

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

KYSILKA, Michal. *Optimalizace vzduchotechniky wellness*. Brno, 2013. 128 s., 2 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických
zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří výhradně mému vedoucímu práce doc. Ing. Ondřeji Šikulovi, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady, obětovaný čas, psychickou podporu a obrovskou trpělivost při konzultacích práce. Dále pak i rodičům, kteří mne podporovali nejen při vypracovávání této diplomové práce, ale i během celého studia.

A. OBSAH

A.	OBSAH	1
B.	ANALÝZA TÉMATU	5
C.	LEGISLATIVNÍ A NORMOVÉ PODKLADY	6
D.	TEORETICKÁ ČÁST.....	7
1.	Úvod	7
2.	Mikroklima wellness.....	8
I.	Teplota vzduchu	9
II.	Vlhkost vzduchu	9
III.	Povrchová teplota okolních konstrukcí (střední radiační teplota)	9
IV.	Proudění vzduchu.....	9
3.	Vlhký vzduch.....	16
a.	Vyjádření vlhkosti vzduchu	17
b.	Měrná vlhkost x	18
c.	Relativní vlhkost φ	18
d.	Absolutní vlhkost vzduchu a	19
e.	Teplota rosného bodu t_r	19
f.	Teplota mokrého teploměru t_m	20
g.	Měrná entalpie h	20
h.	Parciální tlak syté páry p_p''	22
4.	Mollierův h - x diagram	23
5.	Vodní zisky.....	25
a.	Odpar z vodní plochy	25
b.	Tepelná bilance člověka	26
I.	Produkce tepla a tepelná rovnováha	26
II.	Energetický výdej	27
III.	Hmotnostní tok vodní páry od lidí	27
E.	EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	29
1.	Úvod	29
2.	Cíl experimentálního měření.....	31
3.	Popis modelu.....	31
a.	Část simulující uzavřenou bazénovou halu	32

b. Část simulující VZT jednotku	32
c. Část regulace průtoku vzduchu a vzduchovod	32
d. Snímače, čidla, datalogger a váha	34
4. Postup měření	38
a. Sestavení modelu	38
b. Regulace požadované teploty a rychlosti proudění vzduchu	38
c. Regulace požadované teploty vody	39
d. Měření	39
5. Zpracování dat	40
a. Měření č. 01 – Minimální teplota pro bazény.....	40
b. Měření č. 02 – Odpar přirozenou konvekcí	41
c. Měření č. 03 – Odpar s nucenou konvekcí vzduchu o teplotě 26 °C	42
d. Měření č. 04 - Odpar s nucenou konvekcí vzduchu o teplotě 30 °C.....	43
e. Měření č. 05 - Odpar s nucenou konvekcí vzduchu o teplotě 28 °C.....	44
6. Vyhodnocení a matematický popis odpařování.....	45
7. Porovnání měření s již známými algoritmy	49
a. Německá norma VDI 2089 (starší vydání) – Technické vybavení krytých bazénů.....	49
b. Německá norma VDI 2089 (nové vydání) – Technické vybavení krytých bazénů	51
c. Empirický vztah	52
d. Porovnání jednotlivých vztahů.....	53
F. APLIKACE VÝPOČETNÍ TECHNIKY	54
1. Úvod	54
2. Základní fyzikální děje	55
a. Proudění tepla a látek	55
b. Sdílení tepla konvekcí.....	59
3. Computational Fluid Dynamics (CFD) Software	60
4. Zadaný objekt MAXIMUS RESORT	60
5. Cíl	61
6. Tvorba geometrie a výpočetní sítě.....	63
a. Geometrie bazénové haly	63
b. Tvorba výpočetní sítě a objemových prvků	66
c. Okrajové podmínky	67
d. Export výpočtové sítě.....	67

7. Numerická simulace	68
a. Základní nastavení v programu FLUENT	69
b. Okrajové podmínky	69
I. Přívodní vyústky	70
II. Vodní plochy a smáčená podlaha	70
III. Ohraničující konstrukce.....	71
c. Výpočet	73
d. Post Processing	73
I. Alternativa.....	73
II. Alternativa „ZDOLA NAHORU“	76
III. Alternativa „SHORA NAHORU“	79
8. Vyhodnocení.....	82
a. Rovnoměrné rozložení teplot	82
b. Nízká rychlost proudění vzduchu	84
c. Nízký index PPD.....	86
9. Závěr.....	90
G. APLIKACE VLASTNÍ EMPIRICKÉ ROVNICE	91
1. Na zadanou místnost.....	91
2. Na další problematické provozy	92
H. PROJEKT.....	93
1. Popis objektu	93
2. Analýza objektu	94
3. Tepelné ztráty.....	96
4. Tepelné zisky	99
5. Množství vzduchu a tlakové poměry.....	105
a. Množství vzduchu	105
b. Tlakové poměry.....	105
6. Návrh VZT jednotky	106
7. Dimenzování potrubí.....	107
8. Distribuční elementy	108
9. Technická zpráva	109
1. Úvod	109
I. Podklady pro zpracování	109

II. Výpočtové hodnoty klimatických poměrů	109
2. Základní koncepční řešení	110
I. Použité normy a předpisy pro návrh	110
II. Základní principy návrhu	111
III. Výpočtové hodnoty vnitřního mikroklimatu	111
Energetické zdroje	112
Tepelná energie, chladící energie	112
Elektrická energie	113
3. Popis technického řešení.....	113
I. Koncepce klimatizačních a větracích zařízení	113
II. Popis jednotlivých zařízení	113
4. Měření a regulace	114
5. Nároky na související profese.....	116
I. Silnoproud:	116
II. ÚT:	116
III. Chlazení	116
IV. ZTI:	116
6. Protipožární opatření	116
7. Protihluková opatření.....	117
8. IZOLACE A NÁTĚRY	117
I. Izolace.....	117
II. Nátěry	118
9. ÚDRŽBA ZAŘÍZENÍ.....	119
10. BEZPEČNOST PRÁCE	119
11. REGULAČNÍ SCHÉMA	120
I. ZÁVĚR	121
J. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	122
K. SEZNAM OBRÁZKŮ	123
L. SEZNAM GRAFŮ.....	124
M. SEZNAM ROVNIC	125
N. SEZNAM TABULEK	125
O. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	126
P. SEZNAM PŘÍLOH	128

B. ANALÝZA TÉMATU

Tématem diplomové práce je optimalizace vzduchotechniky wellness, jež je součástí ubytovacího zařízení MAXIMUS RESORT, které je situováno u Brněnské přehrady ve čtvrti Brno-Bystrc. Dle místa byly použity i odpovídající klimatické podmínky a vstupní údaje. Budova je v realizační fázi, a proto provedené simulace mohou sloužit k určení nejideálnějšího distribučního řešení bazénové haly s vířivkou, popřípadě posouzení návrhu vzduchotechnickou firmou.

Objekt ubytovacího zařízení je součástí komplexu tří vzájemně nepropojených budov a budova, ve kterém se wellness nachází, je pětipodlažní a skrývá jedno podlaží podzemní sloužící výhradně jako technické zázemí celého stavebního objektu. První nadzemní podlaží je kromě recepce celé využito k relaxačnímu vyžití a na zbylých 3 nadzemních podlažích jsou navrženy dvou až čtyřlůžkové pokoje. Obvodové zdivo je tvořeno z pórobetonových tvárníc tl. 300 mm (YTONG) zateplené minerální vlnou tl. 160 mm. Okna jsou plastová 5 komorová s izolačním dvojsklem.

Teoretická část práce se zabývá obecnými tezemi technického větrání objektů s důrazem na charakteristiku proudění. Dále popisuje teoretické poznatky o vlhkém vzduchu a nastiňuje problematiku zatížení interiéru wellness vázaným teplem.

Experimentální část se soustředí na odpar z volné vodní hladiny. Pokládá si za cíl předložit čtenáři naměřená data, jejich zpracování a porovnání s vypočtenými hodnotami pomocí známých vztahů. V neposlední řadě vytvoření vlastní aproximační formule popisující fyzikální jev odpařování odparu.

V části simulace jsou zmíněny moderní možnosti navrhování distribučního řešení VZT pomocí softwarového simulačního řešení. Dále byl vytvořen výpočtový model v simulačním programu s několika alternativami distribuce vzduchu a provedeny simulace systému nuceného větrání s odvlhčováním čerstvým vzduchem. Výsledky jednotlivých variant byly porovnány. Závěrem byla stanovena nejideálnější koncepce distribuční sítě, která byla následně rozpracována v části projekt ve fázi stavebního povolení.

C. LEGISLATIVNÍ A NORMOVÉ PODKLADY

Diplomová práce byla vypracována v souladu s příslušnými hygienickými, zdravotnickými, bezpečnostními, protipožárními předpisy a normami platnými na území České republiky, přitom implicitní hodnoty údajů ve výpočtech dále uvažovaných, jakož i předmětné výpočtové metody jsou převzaty zejména z obecně závazných předpisů a norem:

- Vyhláška č. 238/2011 Sb. O stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch
- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci (včetně novely č.68/2010 Sb.)
- Nařízení vlády č.148/2006 Sb., ze dne 15.3.2006 O ochraně před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Vyhláška č.137/2004 Sb. O hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných se změnami 602/2006 Sb.
- Vyhláška č.6/2003 Sb., ze dne 16.12.2002, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
- Vyhláška č.246/2001 Sb. O požární prevenci
- Vyhláška č.499/2006 Sb. O dokumentaci staveb
- ČSN 73 0548 - Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů (1986)
- ČSN 73 0542 – Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí (2002)
- ČSN 12 7010 - Navrhování větracích a klimatizačních zařízení (1988)
- ČSN 73 0802 - Požární bezpečnost staveb (05/2009)
- ČSN 73 0872 - Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením 1996
- ČSN 73 6058 – Hromadné garáže – 8/1987, změna b – 8/1989, změna Z3 – 2/2001
- ČSN EN ISO 7730 Mírné tepelné prostředí - Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody, 1997
- Prof. Chyský, prof. Hemzal Větrání a klimatizace - technický průvodce 1993

D. TEORETICKÁ ČÁST

1. ÚVOD

Wellness produkty se stále častěji stávají součástí služeb nabízených v ubytovacích zařízeních a převážně hotely. Konkurenční tlak vedl k tomu, že kvalitní hotel bez wellness centra nemá na trhu příliš velkou šanci. I velké hotelové řetězce jsou v této oblasti aktivní a vytváří nové marketingové produkty. Každý hotel s vybavením wellness dnes může být nazýván wellness hotelem, ovšem vybavení těchto hotelů se výrazně liší. Menší wellness centra jsou tvořena zpravidla jen vířivkou, saunou, posilovnou, případně malým bazénem. V případě větších wellness center přibývají další služby.



Obrázek 1 - Wellness vybavení (vířivka, bazén)

Příklady technického vybavení hotelových wellness center:

- Spa, vodní terapie: vířivá vana, vana pro perličkové koupele, aromalázně, vichy sprcha (afuzní sprchy masírující tělo v různých frekvencích a silách)
- Světelné terapie: solárium, infrakabina (slouží k prohřátí celého těla, vhodné jako náhrada sauny pro kardiaky či astmatiky)
- Centrum pro kosmetickou péči

- Různě druhy saun: finská sauna (do 100 °C), vário sauna (umožňuje volit kromě klasické finské sauny i mezi tropickou lázní a vlhkou bylinnou lázní, solná (navozuje atmosféru přírodního prostředí)
- Solné jeskyně
- Bazén či aquapark
- Fitness centrum (posilovna, spinning, yoga, aerobik apod.).
- a další

Kvalita poskytovaných služeb je alfou a omegou úspěchu podnikání ve světě wellness. Wellness nespočívá jen v hmotné nabídce služeb jako je bazén, vířivka či fitnesscentrum. Klíčová je celková atmosféra. Wellness zařízení v hotelech by měla navozovat pocit blahobytu maximálně orientovaný na osobnost zákazníka. Tyto snahy by měly ovlivňovat psychické, intelektuální, emoční, sociální, duchovní pocity zákazníků a naplňovat je prožitkem krásy, klidu a míru. Pokud se tohoto u zákazníků dosáhne, je úspěch v podnikání wellness téměř zaručen.

2. MIKROKLIMA WELLNESS

Aby se tohoto zážitku dosáhnout mohlo, nepostačí pouze kvalitní technické vybavení wellness centra, ale samozřejmý je přitom i optimální návrh mikroklimatu v prostorách, kde procedury nebo odpočinkové relaxační terapie probíhají.

Interní mikroklima těchto prostor ovlivňuje mnoho faktorů, které na daný objekt působí současně. Mezi hlavní patří *venkovní tepelně-vlhkostní podmínky*, které se více či méně projevují na vnitřním prostoru v závislosti na stavebním řešení plášťových a vnitřních konstrukcích, dále *tepelně technické vlastnosti konstrukcí obvodového pláště*, přičemž dominuje vliv prosklených částí a *vnitřní zdroje tepla a vodní páry*. Kromě pohybu lidí se na vlhkostní bilanci podílí i rostliny, koupání (myšleno sprcha nebo vana) a v případě wellness ji významně ovlivňuje odpar z vodní plochy bazénů nebo odpar z vodou smáčené podlahy. Tyto okolnosti je nutno zahrnout do výpočtů tepelné zátěže a tepelných ztrát, což jsou výchozí hodnoty pro návrh klimatizace nebo teplovzdušného vytápění.

Všechny tepelně vlhkostní toky z vnějšího i vnitřního prostředí mají neustálý neuspořádaný charakter a v důsledku toho charakteristické parametry tepelně vlhkostní složky podléhají změnám a kolísání v denním i nočním cyklu. Vzduchotechnické systémy, zejména pak klimatizace a teplovzdušné vytápění, slouží ke zmírnění těchto vlivů a k nastavení konstantních parametrů prostředí v optimálních hodnotách. Základní parametry tepelně-vlhkostního mikroklimatu tvoří komplex čtyř základních veličin, kterými jsou:

I. Teplota vzduchu

Teplota vzduchu je teplota interiérového vzduchu bez vlivu sálání z okolních povrchů.

II. Vlhkost vzduchu

Její význam, kromě vlivu na výdej latentního tepla, převážně spočívá při hodnotách na 70% v riziku a šíření plísní, roztočů, což může vézt při dlouhodobém působení ke chronickým onemocněním cest dýchacích. Naopak nízká vlhkost vzduchu podmiňuje šíření prachu a částic, které mohou být původcem alergií, jako jsou například pyly. Vyhláška 238/2011 Sb. neurčuje hranice, při níž prostor splňuje hygienické limity. Běžně se ovšem navrhuje vzduchotechnická zařízení tak, aby regulovala relativní vlhkost vzduchu v místnosti v rozmezí 20 - 65% a tím eliminovala výše popsaná rizika.

III. Povrchová teplota okolních konstrukcí (střední radiační teplota)

Střední radiační teplota je myšlená rovnoměrná teplota všech ploch v prostoru, při níž by byl přenos tepla z těla sáláním stejný jako ve skutečnosti.

IV. Proudění vzduchu

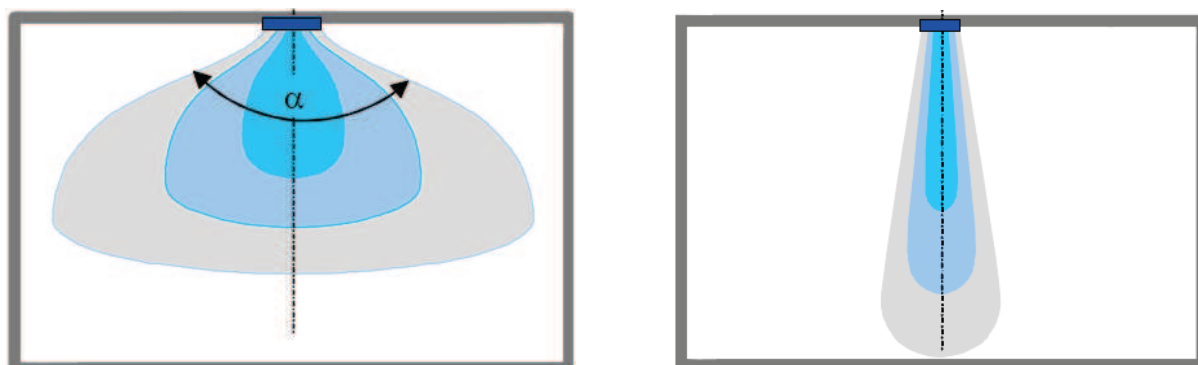
Proudění vzduchu v prostoru je základní úlohou vzduchotechniky. Podstatnými faktory ovlivňující proudění v reálných místnostech jsou *hybnost* (setrvačnost) přívodního vzduchu, gravitační (vztlkové) síly, geometrie místnosti, pohyb lidí, zvířat nebo předmětů. Konečný cíl řešení sledující identifikaci okamžité rychlosti i průtoku vzduchu jeho teploty a hmotnostních koncentrací v libovolném místě v prostoru, je velmi složitá úloha vyplývající z třírozměrného a nestacionárního charakteru. Konkrétní výstupy lze dosáhnout výpočetní technikou (na více či méně idealizovaných případech) nebo experimentálním řešením na modelech.

Praktické řešení úloh vychází z idealizovaných řešení transformovaných do dvourozměrných nebo i jednorozměrných dimenzí.

Proudění v prostoru formuje výslednice silových účinků setrvačných a gravitačních sil či sporadicky rozdílu tlaku. Ke klasifikaci proudění slouží řada faktorů, z nichž jsou základní geometrie a teplota.

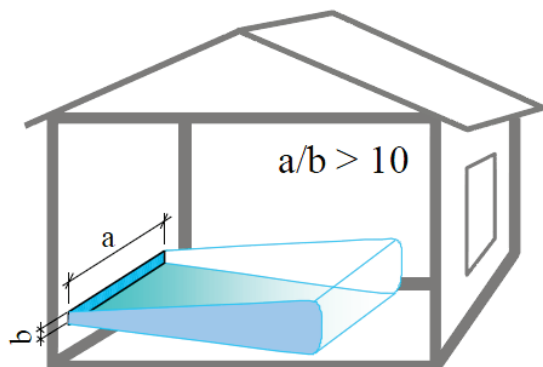
- Podle geometrie se proudy dělí:
 - Kruhové

Proud kruhový (kuželový) je osově symetrický a jeho dosah závisí na úhlu α , pod kterým je z distribučního prvku vypouštěn. Proud s úhlem výstupního proudu do 120° se vyznačuje vyšším dosahem. Pro nižší prostory, kde není potřeba větší dosah proudu, je vhodnější úhel proudu redukovat do rozmezí $120 - 160^\circ$. Typickým distribučním prvkem těchto proudů je žaluziová vyústka, nastavitelná vířivá vyústka a je vhodný pro běžné obchodní domy, administrativní budovy apod.



Obrázek 2 - Obraz proudu kruhového a kruhového kompaktního tvaru

- Ploché

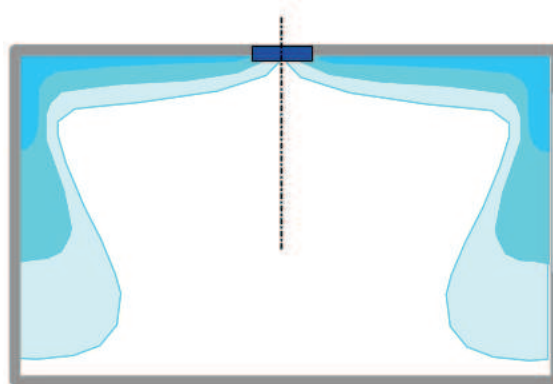


Plochý proud představuje proud vzduchu vystupující otvorem, jehož jeden rozměr je o mnoho menší než rozměr druhý. Typickým představitelem těchto proudů jsou štěrby.

Obrázek 3 - Obraz proudu plochého tvaru

○ Radiální

Proud radiální je proud s výstupním úhlem α blížící se 180° . Má charakter podstropního proudu, jehož využití je vhodné převážně pro přívod chladného vzduchu. Typickým distribučním prvkem je vířivá výústka nebo anemostat.

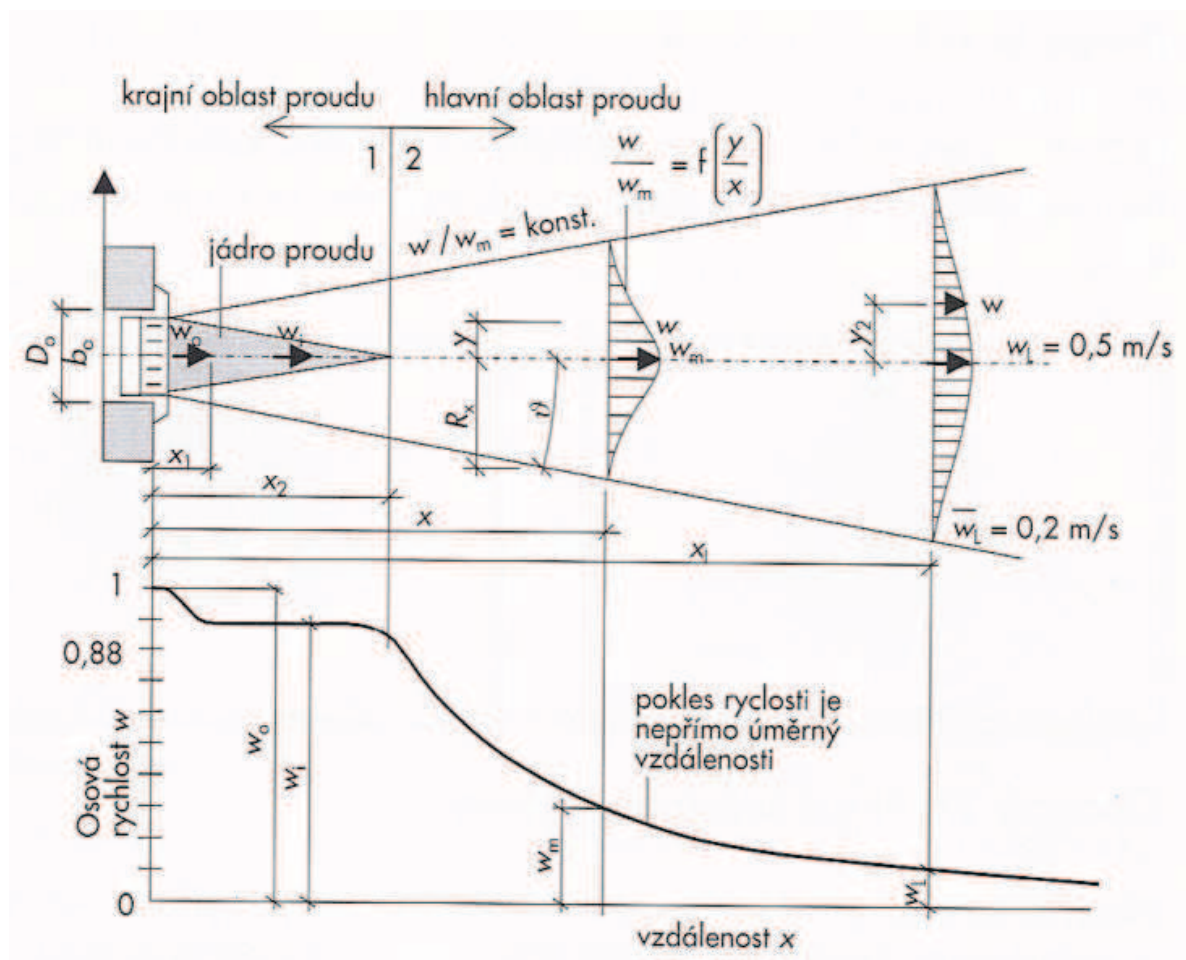


Obrázek 4 - Obraz proudu radiálního tvaru

- Podle teploty a jejího rozdílu formující tvar osy proudů se proudy dělí:
 - Izotermní (zatopené)

Volné proudění představující tzv. zatopený proud nastane v případě, kdy teplota přívodního vzduchu je identická s teplotou okolního vzduchu. Výchozí pro řešení je *volné proudění vzduchu otvorem*. Rovnost teplot a konstantní viskozity zjednodušuje řešení úloh, jelikož není závislé na Reynoldsově čísle. Při řešení se vychází z teorie zpracované G. N. Abramovičem, který zavedl experimentální konstantu, tzv. součinitel vířivosti a charakterizující konstrukci vyústujícího otvoru. Proud vzduchu tvoří tzv. jádro, krajní a hlavní oblast proudu. Pro krajní oblast je charakteristická konstantní rychlost pro zmenšující se jádro. Volné proudění lze demonstrovat případem nuceného větrání rozměrné místnosti (haly, bazénové haly), kdy je teplota přívodního vzduchu stejná jako teplota interiéru a formuje tak volný izotermní proud.

$a = 0,09 - 0,10$	- čtvercový průřez
$a = 0,08$	- kruhový průřez s ostrým krajem
$a = 0,07$	- kruhový průřez s úkosem při výstupu
$a = 0,09$	- štěrbinová výúst s úkosem
$a = 0,12$	- štěrbinová výúst bez úkosu
$a = 0,17 - 0,20$	- pravoúhlá výúst s usměrňovacími lopatkami při výstupu



Obrázek 5 - Schéma volného izotermního proudu

Základní veličiny volných proudů

Poloměr proudu – R_x

Úhel rozšíření proudu – θ

Poměrný rychlostní profil – w / w_m

Osová rychlost – w

Dosah proudu – x_L

Šířka proudu – y

○ Neizotermní

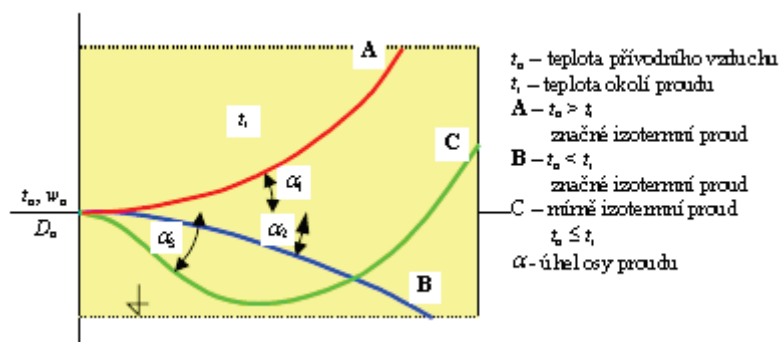
Proudění se vyznačuje rozdílnou teplotou přívodního vzduchu a vzduchu v interiéru. Rozdíl teplot způsobuje deformaci proudu, jeho tvar pak formuje výslednice gravitačních a setrvačných síl. Jejich poměr vyjadřuje Archimedovo kritérium Ar_o .

$$Ar_o = \frac{g \cdot D_r}{\nu_o^2} \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_2}$$

Rovnice 1 - Archimedovo kritérium

D_r ... rovnocenný průměr, pro čtyřhranný otvor platí: $D_r = \frac{2 \cdot a \cdot b}{(a+b)}$

Gravitační (vztlakové) síly se projevují vertikálním ohybem proudu. Při $Ar_o < 0,001$ jsou proudy mírně neizotermní a lze je řešit jako izotermní. Pro $Ar_o > 0,01$ jsou proudy značně neizotermní.



Obrázek 6 - Vliv rozdílu teplot na zakřivení proudu

- Podle prostoru, ve kterém se vyskytují, se proudy dělí:

○ Volné

Volný proud lze předpokládat v případech, kdy je rozměr místnosti značně větší než rozměr přívodního otvoru.

Teoretické postižení rychlostního pole proudu představuje náročné řešení turbulentního proudění viskózní kapaliny. Aktuálním přístupem je modelování, které

vyžaduje nákladné programové vybavení. Pro projekční praxi mají dosud největší význam výsledky experimentů aproximované do použitelných formulí nebo programová řešení výrobců distribučních prvků či jejich návrhové diagramy.



Obrázek 7 - Volné neizotermní proudění

Specifickým případem je konvektivní volné proudění, které tvoří lokální proud ohřátého či ochlazeného vzduchu, projevující se samovolným prouděním nad zdroji tepla. Proudění je vyvoláno účinkem gravitačních sil. Řešení problematiky vychází z experimentů sledujících rychlostní a teplotní profily nad základními tvary tepelných zdrojů.

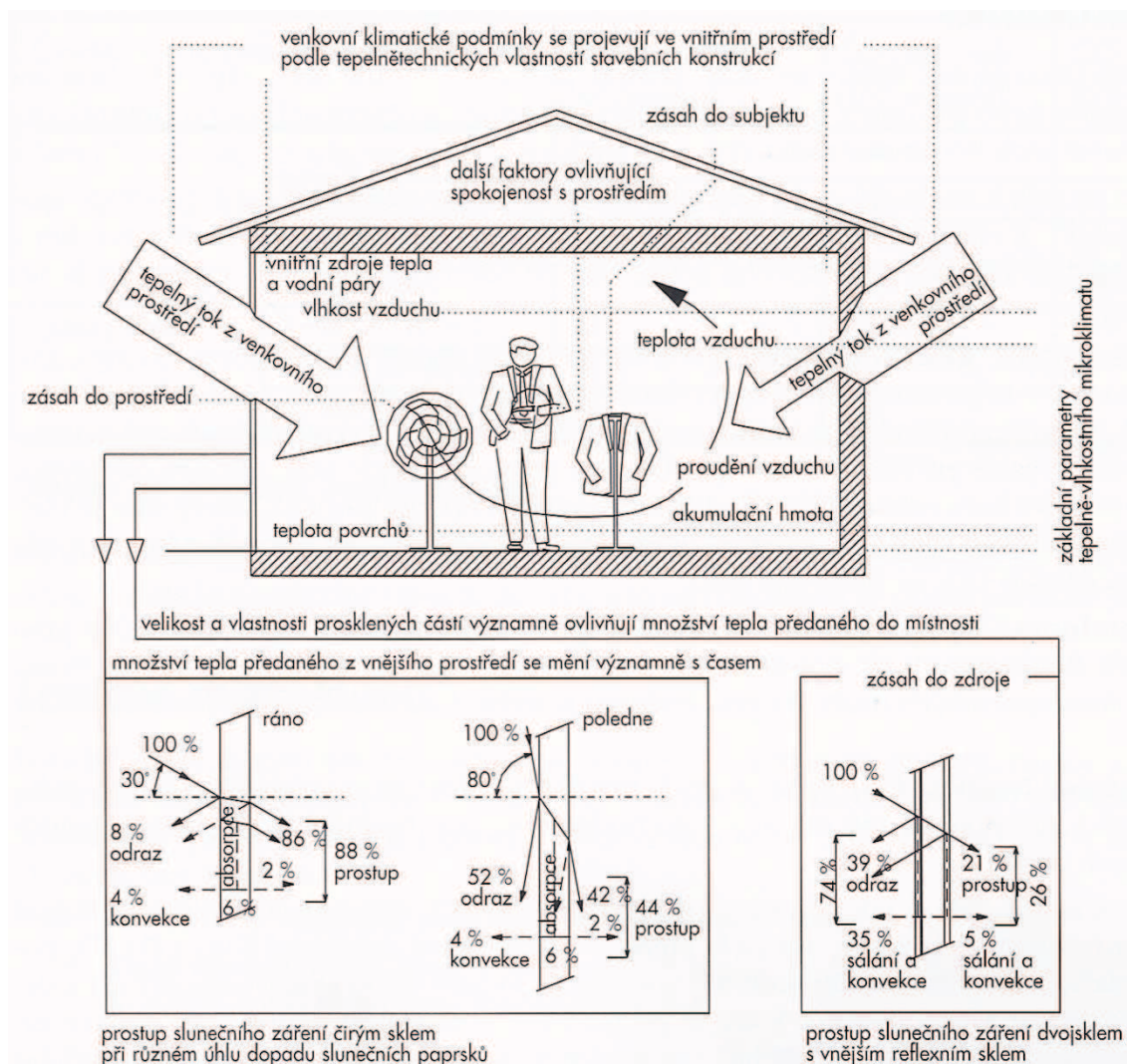
Proudění se vyznačuje vlastnostmi volného svislého proudění a poklesem rychlosti v závislosti na vzdálenosti. V souvislosti s tvorbou interního mikroklimatu je dnes aktuální konvektivní proudění vznikající i nad uživateli prostoru, lidmi.

○ Poloohraničené

Tento případ proudění se vyskytuje v případech vyústění vzduchu v místnostech v blízkosti povrchů stěn. Vyznačuje se prodloužením dosahu vlivem Coandova efektu, tedy přilnutím proudu k obtékanému povrchu stěny či stropu z důvodu menšího odporu třením ke stěně a tlakových poměrů.

○ Ohraničené

Tento proud je typický pro tvorbu interního mikroklimatu místností vzduchotechnikou, neboť se vyskytuje v omezeném prostoru, tedy v reálných místnostech budov. Typickými pro obrazy proudění jsou zpětné proudy a vzájemné působení proudů.



Obrázek 8 - Faktory a veličiny tepelně-vlhkostního mikroklimatu

Tyto veličiny mají pro člověka stěžejní význam, jelikož ovlivňují výdej tělesného tepla do prostředí, čímž se podílí na vytváření tepelné rovnováhy, která je základní podmínkou optimálního prostředí pro pobyt lidí.

3. VLHKÝ VZDUCH

Vlhký vzduch je směsí dvou složek. První složkou je suchý vzduch, jehož složky jsou:

- Dusíku 78 %
- Kyslíku 21 %
- Ostatní plyny 1 %
 - Argon 0,93 %
 - Oxid uhličitý 0,03 %
 - Neon 0,0018 %
 - Helium 0,000524 %
 - Metan 0,0002 %
 - Krypton 0,000114 %
 - Vodík 0,00005 %
 - Xenon 0,0000087 %

a druhou složkou vodní páry. Jestliže smísíme tyto dvě složky, budou obě sdílet stejný objem i teplotu, ale u obou můžeme určit parciální tlak a parciální hustotu. Celkový tlak směsi plynů p je dán součtem dílčích (parciálních) tlaků jednotlivých složek:

$$p = \sum p_i = p_a + p_p$$

p ... celkový tlak vlhkého vzduchu [Pa]

p_a ... parciální tlak suchého vzduchu [Pa]

p_p ... tlak vodní páry [Pa]

Rovnice 2 - Daltonův zákon

Vodní páru se suchým vzduchem není možno směšovat v libovolném poměru v celém oboru tlaku a teplot. Je-li teplota nižší, než je teplota syté vodní páry, sráží se voda ve formě mlhy a je-li teplota nižší než teplota sublimační, sublimuje ve formě ledu nebo sněhu. Je-li vodní pára obsažená ve vzduchu sytou párou, mluvíme o nasyceném vzduchu. Hmotnostní

podíl vodní páry ve vlhkém vzduchu je zpravidla velmi nízký, z toho důvodu lze celkový tlak v běžných úlohách uvažovat jako tlak atmosférický a proto můžeme suchý vzduch i vodní páru považovat za plyny ideální s následujícími vlastnostmi:

	C_p [kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	R [kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	C_v [kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	M [kg·kmol ⁻¹]
Suchý vzduch	1,005	0,28711	0,717	28,97
Přehřátá vodní pára	1,926	0,4615	1,465	18

Tabulka 1 - Základní veličiny vlhkého vzduchu

Vlhký vzduch se běžně může vyskytovat ve stavu:

- Homogenní směs – voda obsažená ve směsi je v plynném stavu
- Heterogenní směs - voda obsažená ve směsi je v různých fázích
- Voda obsažená ve směsi je částečně ve stavu kapalném a částečně ve stavu páry
př.: déšť, mrholení...atd.
- Voda obsažená ve směsi je částečně ve stavu tuhém a částečně ve stavu páry
Př.: ledové krystalky, sněhové vločky...atd.
- Voda obsažená ve směsi je částečně ve stavu tuhém, částečně ve stavu kapalném a částečně ve stavu páry

a. Vyjádření vlhkosti vzduchu

Množství vody je možné vyjádřit několika různě definovanými veličinami. Některé lze měřit přímo, ale všechny lze mezi sebou přepočítávat. Pro jednoznačné určení stavu jakéhokoliv vzduchu je nutné znát minimálně dvě stavové veličiny. Tedy jednu ze základních veličin (teplota, tlak) a jednu veličinu vyjadřující složení směsi (vlhkost). Obsah vlhkosti ve vzduchu je různý a vlhký vzduch dělíme:

- Vlhký vzduch nasycený parou $p_v < p_v''$
- Vlhký vzduch nasycený $p_v = p_v''$

- Vlhký vzduch přesycený a směs je heterogenní $p_v > p_v''$

Množství vodní páry obsažené ve směsi vlhkého se může měnit. Stav nasycení je stav, při kterém vzduch pojme maximální množství vodní páry. Parciální tlak nasycené vodní páry je tedy tlakem vodní páry při maximálním nasycení vzduchu. Tento tlak je funkcí teploty.

b. Měrná vlhkost x

Měrná vlhkost je veličina využívaná pro přesnou kvantifikaci množství vodní páry ve vlhkém vzduchu a je definovaná jako poměr hmotnosti vodní páry a suchého vzduchu:

$$x = \frac{m_p}{m_v} = \frac{V \cdot \rho_p}{V \cdot \rho_v} = \frac{R_v}{R_p} \cdot \frac{p_p}{p_v} = 0,622 \cdot \frac{p_p}{p - p_p}$$

x ... měrná vlhkost [$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.v.]

R_v ... měrná plynová konstanta vzduchu

$$\dots R_v = 287,062 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

R_p ... měrná plynová konstanta páry

$$\dots R_p = 461,518 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

p_p ... parciální tlak páry [Pa]

$$\dots p_p = \varphi \cdot p_p''$$

p_v ... parciální tlak vzduchu [Pa]

$$\dots p_v = p - p_p$$

Rovnice 3 - Měrná vlhkost vzduchu x

c. Relativní vlhkost φ

Relativní vlhkost je definována jako poměr parciálního tlaku vodní páry k parciálnímu tlaku nasycené vodní páry při stejné teplotě. Někdy je také definována jako poměr vlhkosti absolutní daného vzduchu k absolutní vlhkosti nasyceného vzduchu při konstantní teplotě. Tedy vyjadřuje míru nasycení vzduchu vodní parou.

$$\varphi = \frac{p_p}{p_p''} \cdot \frac{x}{0,622 + x} \cong \frac{p_p}{p_p''}$$

ϕ ... relativní vlhkost [%]

p_p ... parciální tlak vodní páry

p_p'' ... parciální tlak nasycené vodní páry

Rovnice 4 - Relativní vlhkost φ

d. Absolutní vlhkost vzduchu a

Absolutní vlhkost vzduchu je hmotnost vodní páry obsažené v 1m^3 vlhkého vzduchu. Protože objem vlhkého vzduchu je podle Oswaldova zákona:

$$V = V_A = V_V$$

je absolutní vlhkost $a = \rho_V = \frac{m_V}{V_V}$ při tlaku vodních par p_v o teplotě T . Pro homogenní směs se její teplota pohybuje v rozsahu $(0; p_v'')$.

Další možností určení vlhkosti vzduchu je znalost teploty rosného bodu nebo teploty mokrého teploměru, které se dají změřit.

e. Teplota rosného bodu t_r

Teplota, při níž je vzduch plně nasycen a při dalším ochlazování začíná kondenzovat pára. V h - x diagramu se t_r pro daný stav vzduchu určí jako průsečíky křivky nasycení ($\varphi = 100\%$) a přímkou měrné vlhkosti odpovídající danému stavu vzduchu.

$$t_r = \frac{4044,2}{23,58 - \ln p_D} - 253,6 \text{ pro } t_r > 0$$

$$t_r = \frac{6148}{28,926 - \ln p_D} - 273,1 \text{ pro } t_r < 0$$

t_r ... teplota rosného bodu [$^{\circ}\text{C}$]

p_D ... parciální tlak vodních par [Pa]

Rovnice 5 - Teplota rosného bodu t_r

Někdy je teplota rosného bodu označována též indexem DP (z anglického výrazu „Dew Point“).

f. Teplota mokrého teploměru t_m

Je definována jako teplota vody, při níž je teplo potřebné k vypařování vody do vzduchu odebíráno přestupem tepla konvekcí z okolního vzduchu (izobarický děj). Někdy je také nazývána jako mezní teplota adiabatického chlazení a označována t_{WB} (Wet Bulb). Výpočet teploty mokrého teploměru má charakter iterace a učí se podle vztahu:

$$t_m = t - \frac{e^{23,58 - \frac{4044,6}{235,6 + t_m}} - p_D}{A \cdot p}$$

t_m ... teplota mokrého teploměru [$^{\circ}\text{C}$]

t ... teplota suchého teploměru [$^{\circ}\text{C}$]

p_D ... parciální tlak vodních par [Pa]

A ... psychrometrická konstanta [K]

... $A = 622 \cdot 10^{-6}$

p ... atmosférický tlak [Pa]

Rovnice 6 - Teplota mokrého teploměru t_m

Tato veličina není zcela jednoznačná a je ovlivňována podmínkami přenosu tepla a vlhkosti a tepelným sáláním. Je měřítkem entalpie vzduchu.

g. Měrná entalpie h

Při výpočtech s vlhkým vzduchem je výhodné sledovat 1 kg suchého vzduchu, který obsahuje proměnlivé množství měrné vlhkosti vodních par. V procesech úprav vzduchu zůstává totiž hmotnost suchého vzduchu stálá a mění se pouze hmotnost vodní páry, proto se entalpie vztahuje na 1 kg suchého vzduchu (obdobně jako měrná vlhkost).

Entalpii vlhkého vzduchu je možné s dostatečnou přesností vyjádřit vztahem:

$$h = h_v + x \cdot h_p = c_v \cdot t + (l_0 + c_p \cdot t) \cdot x$$

h ... výsledná měrná entalpie vlhkého vzduchu [$J \cdot kg^{-1} \text{ s.v.}$]

h_v ... měrná entalpie suchého vzduchu [$J \cdot kg^{-1} \text{ s.v.}$]

h_p ... měrná entalpie vodní pára [$J \cdot kg^{-1} \text{ s.v.}$]

x ... měrná vlhkost [$kg \cdot kg^{-1} \text{ s.v.}$]

t ... teplota suchého teploměru [$^{\circ}C$]

c_v ... měrná tepelná kapacita suchého vzduchu [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]

... $c_v = 1010 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ platí pro teplotu $t \in (-30; 100) ^{\circ}C$

c_p ... měrná tepelná kapacita vodní páry [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]

... $c_p = 1840 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

l_0 ... výparné teplo vody při teplotě $0 ^{\circ}C$ [$J \cdot kg^{-1}$]

... $l_0 = 2500 \cdot 10^3 J \cdot kg^{-1}$

Rovnice 7 - Měrná entalpie h vlhkého vzduchu

Pokud vzduch obsahuje vodní mlhu, přičte se k entalpii vlhkého vzduchu entalpie mlhy (vodních kapek):

$$h = h'' + (x - x'') \cdot h_w = h'' + (x - x'') \cdot c_w \cdot t \quad \text{pro } t > 0 ^{\circ}C$$

$$h = h'' + (x - x'') \cdot h_E = h'' + (x - x'') \cdot (l_E + c_E \cdot t) \quad \text{pro } t < 0 ^{\circ}C$$

h'' ... entalpie nasyceného vlhkého vzduchu [$J \cdot kg^{-1} \text{ s.v.}$]

h_w ... entalpie vody (vodních kapek) [$J \cdot kg^{-1} \text{ s.v.}$]

h_E ... entalpie ledu [$J \cdot kg^{-1} \text{ s.v.}$]

t ... teplota suchého teploměru [$^{\circ}C$]

x ... měrná vlhkost suchého vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.v.]

x'' ... měrná vlhkost nasyceného vlhkého vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.v.]

c_w ... měrná tepelná kapacita vody [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

$$\dots c_w = 4187 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

c_E ... měrná tepelná kapacita ledu [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

$$\dots c_E = 2090 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

l_E ... výparné teplo vody při teplotě 0 °C [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

$$\dots l_E = -333 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Rovnice 8 - Měrná entalpie h přesyceného vzduchu

h. Parciální tlak syté páry p_p''

Parciální tlak syté páry je závislý pouze na teplotě a platí vztah s přesností menší než 1‰:

$$p_p'' = e^{28,926 - \frac{6148}{273,15+t}} \quad \text{pro } t \in \langle -20; 0 \rangle ^\circ\text{C}$$

$$p_p'' = e^{23,58 - \frac{4044,2}{235,6+t}} \quad \text{pro } t \in \langle 0; 80 \rangle ^\circ\text{C}$$

Rovnice 9 - Parciální tlak syté páry p_p''

Parciální tlak lze také spočítat podle Hylanda a Wexlera následujícími vztahy:

$$p_p'' = e^{\frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 \cdot T + C_4 \cdot T^2 + C_5 \cdot T^3 + C_6 \cdot T^4 + C_7 \cdot \ln(T)} \quad \text{pro } t \in \langle -100; 0 \rangle ^\circ\text{C}$$

$$p_p'' = e^{\frac{C_8}{T} + C_9 + C_{10} \cdot T + C_{11} \cdot T^2 + C_{12} \cdot T^3 + C_{13} \cdot \ln(T)} \quad \text{pro } t \in \langle 0; 200 \rangle ^\circ\text{C}$$

C_i ... konstanty

$$C_1 = -5,6745359 \cdot 10^3$$

$$C_2 = -5,1523058 \cdot 10^{-1}$$

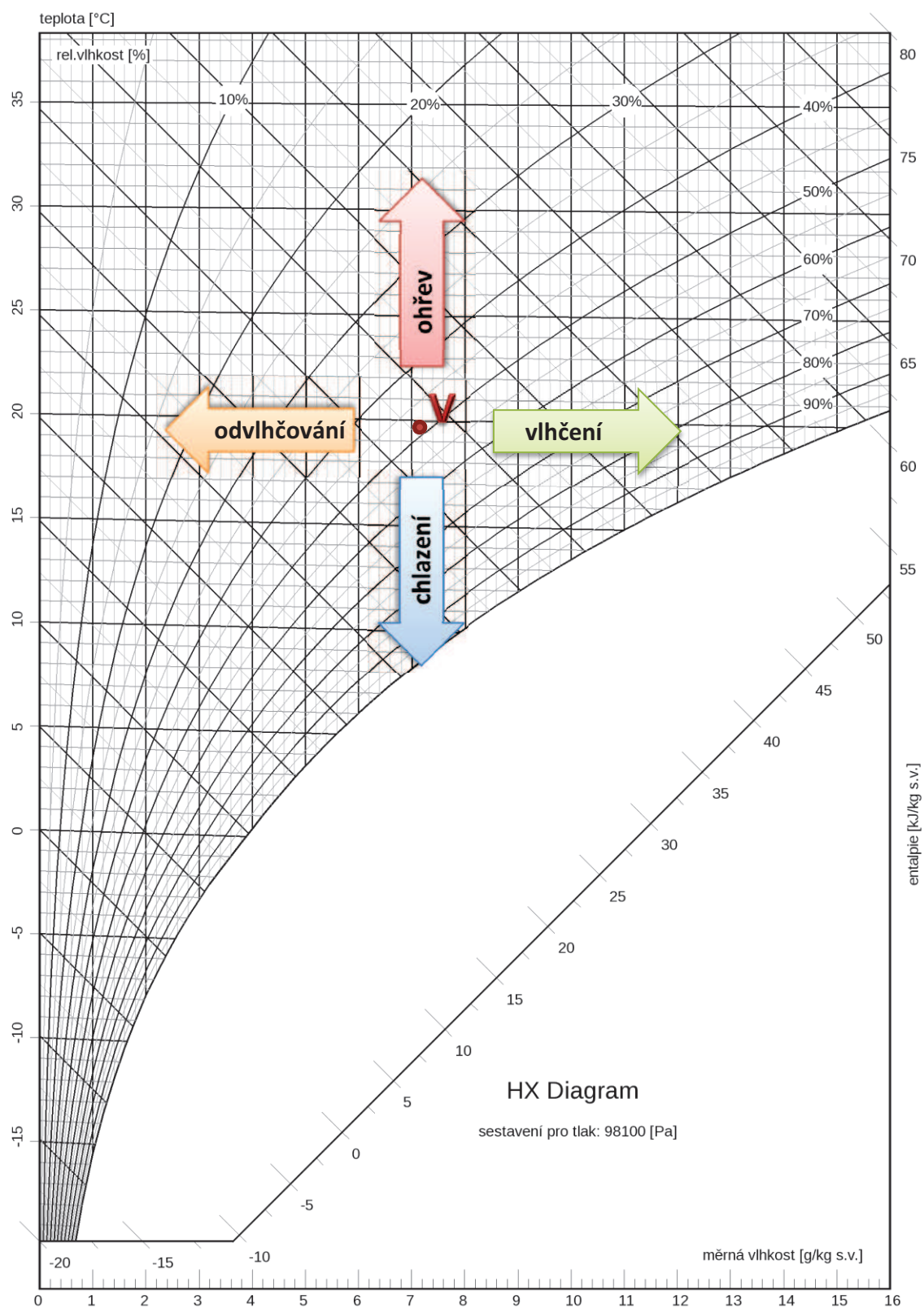
$$C_3 = -9,6778430 \cdot 10^{-3}$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= 6,2215701 \cdot 10^{-7} & C_5 &= 2,0747825 \cdot 10^{-9} & C_6 &= -9,4840240 \cdot 10^{-13} \\
 C_7 &= 4,1635019 & C_8 &= -5,8002206 \cdot 10^3 & C_9 &= -5,5162560 \\
 C_{10} &= -4,8640239 \cdot 10^3 & C_{11} &= 4,1764768 \cdot 10^3 & C_{12} &= -1,4452093 \cdot 10^3 \\
 C_{13} &= 6,5459673
 \end{aligned}$$

Rovnice 10 - Parciální tlak syté páry p_p'' - Hyland & Wexler

4. MOLLIERŮV h-x DIAGRAM

Pro grafické znázornění a vyjádření potřebných stavových veličin slouží v běžné praxi diagram h-x podle Molliera, jehož základní síť tvoří kosoúhlá souřadnicová síť h-x a v ní jsou vyneseny další hodnoty t, x, φ , případně i další. Vzhledem k dobré čitelnosti je vhodná souřadnicová síť s úhlem souřadnic 135° . Analogicky k pravoúhlé souřadnicové síti, kde udává směr poměr úseků $dy/dx = \tan \alpha$ se používá v diagramu h-x směrové měřítko $\delta = \Delta h / \Delta x = dh/dx$. Například izotermy jsou znázorněny Obrázek 8, kde t je pro příslušnou izotermu konstantní. Jejich směr je $\delta = dh/dx = 2500 + 1,84 \cdot t = h_d$, tedy entalpie vodní páry při příslušné teplotě.



Obrázek 9 - Diagram h-x podle Molliera

5. VODNÍ ZISKY

a. Odpar z vodní plochy

Pokud je teplota povrchu, z něhož nastává odpařování, vyšší než je teplota vzduchu, odebírá se teplo pro odpaření přímo z vody. Toto odpařování ovlivňuje podstatně tepelné zisky. Patří sem produkce páry člověkem, rostlin, odpar z jídel a především odpar z vodní hladiny o vyšší teplotě než je teplota okolního vzduchu. Množství odpařené vody z mokrého povrchu nebo hladiny se určuje podle vztahu:

$$M_w = (7,0 + 5,3 \cdot w) \cdot S \cdot (x_p'' - x) \cdot 10^{-3}$$

M_w ... hmotnostní tok odpařené vody [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

w ... rychlost proudění vzduchu nad mokrým povrchem [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

S ... plocha mokrého povrchu nebo hladiny [m^2]

x_p'' ... měrná vlhkost nasyceného vzduchu při teplotě povrchu [$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.v.]

x ... měrná vlhkost vzduchu nad povrchem [$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.v.]

Rovnice 11 – Hmotnostní tok odpařené vody

V některých případech a vzhledem k problematice procesu odpařování, je účelné počítat jen se stálým odparem, jehož velikost vyplývá z praktických zkušeností (např.: pro kryté bazény v případě vytápěných podlah je možno užít empiricky stanovené konstanty hmotnostního toku $7 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

Při adiabatickém odpařování se potřebné teplo odebírá ze vzduchu. Teplota povrchu se pohybuje mezi teplotou mokrého teploměru a teplotou vzduchu, podle intenzity sálání okolních ploch. Odpar se počítá podle Rovnice 11.

b. Tepelná bilance člověka

1. Produkce tepla a tepelná rovnováha

Člověk na základě svých biologických pochodů neustále produkuje teplo, které odevzdává do svého okolí. Stav, kdy prostředí odebírá tělu tolik tepla, kolik právě produkuje, se označuje jako tepelná rovnováha. Teplo, které člověk vydává do okolí, závisí na teplotním spádu, tedy rozdílu teplot mezi povrchem těla a teplotou okolí. Teplota uvnitř lidského těla je kolem 37 °C, ale teplota kůže se může pohybovat v rozmezí 31 - 34 °C podle okolního prostředí. Rozdíly vnikají v průběhu času (závisí na denní době), ale i podle částí lidského těla (závisí na pokrytí oblečením nebo na množství krve protékající periferními kapilárami v podkoží). V lidském těle dochází k nepřetržitému procesu dopravy tepla z vnitřních tkání k povrchu kůže, odkud je teplo odváděno do okolí sáláním, prouděním, vedením a vypařováním. V případě, že je prostředí příliš chladné a odebírá tělu více tepla, než stačí produkovat, nastává podchlazení člověka. Organismus se tomuto brání fyzikální termoregulací, tj. omezením průtoku krve do periferních částí těla (končetiny, nos, uši...), které v důsledku své povrchové teploty sníží výdej tepla do okolí. Pokud tento proces nedostatečně napomáhá k ohřátí organismu, může se aktivovat chemická termoregulace, tedy přímá výroba tepla svalovým třesem (zimnice). Svalová práce má malou účinnost, tzn. že svalový výkon se z velké části mění na teplo. Povrchová teplota kůže je tak výsledkem neustálé interakce mezi člověkem a okolím, kterému se snaží přizpůsobit. Rovnice tepelné rovnováhy vyjadřuje rovnost tepelných toků [W/m²] a má tvar:

$$M - W = E_{res} + C_{res} + K + C + R + E + S$$

Rovnice 12 - Rovnice tepelné rovnováhy člověka s okolím

M...energetický výdej člověka

W...mechanický výkon člověka

E_{res}...tepelná výměna v dýchacím ústrojí odpařováním

C_{res}...tepelná výměna v dýchacím ústrojí prouděním

K...tepelná výměna z povrchu kůže vedením

C...tepelná výměna z povrchu kůže prouděním

R...tepelná výměna z povrchu kůže sáláním

E...tepelná výměna z povrchu kůže odpařováním

S... tepelná výměna z povrchu kůže akumulací tepla v těle

II. Energetický výdej

Tepelný výkon člověka závisí na aktivitě, biologických a fyzických dispozicích, oblečení a podmínkách okolí, ve kterém se daná osoba nachází. Metabolická produkce tepla se rozděluje do dvou skupin:

- *Metabolismus bazální* – I přesto, že člověk nevykonává žádnou aktivitu, produkuje teplo (například ve spánku). Tohle teplo je produkováno na základě biologických procesů v lidském těle. Hlavním biologickým procesem, jenž teplo produkuje, je kontinuální trávení potravy. Bazální metabolismus závisí na fyzických dispozicích člověka a na biologickém zadání v přírodě. Ač jsou tyto faktory značně rozmanité, nemají na výsledné odevzdávané teplo do okolí významný vliv, a proto je možné užít hodnot 44 W/m^2 pro muže a 41 W/m^2 pro ženy.
- *Metabolismus svalový* – Při konání práce se v lidském těle uvolňuje energie. Její část se spotřebuje na fyzickou činnost a zbytek se mění na teplo, jež je odváděno do okolního prostředí, a pokud nelze všechno teplo odvést do okolí, zapojují se termoregulační mechanismy těla.

III. Hmotnostní tok vodní páry od lidí

Zjednodušený výpočet množství voní páry produkované lidmi se podle normy ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů – stanovuje podle vztahu:

$$m_w = n \cdot m_L$$

m_w ... produkce vodní páry od lidí [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$]

n ... počet lidí [-]

m_L ... produkce vodní páry člověka (podle tabulky) [$\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$]

Činnost člověka	Místo činnosti	Produkce vodní páry [$\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$] pro teplotu vzduchu				
		$t_i = 21$ °C	$t_i = 24$ °C	$t_i = 25$ °C	$t_i = 26$ °C	$t_i = 28$ °C
Sedící, odpočívající	Divadlo, kino	33	60	70	79	97
Sedící, mírně aktivní	Kancelář, byt	70	98	107	116	135
Stojící, leká práce, vaření, mytí	Obchody, sklady	89	116	125	134	152
Chodící, procházející	Obchodní domy, banky	95	124	134	143	162
Náročnější fyzická práce	Dílny	203	226	234	244	262
Mírný tanec	Tančírna	215	250	261	273	296

Tabulka 2 - Produkce vodní páry lidmi

E. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

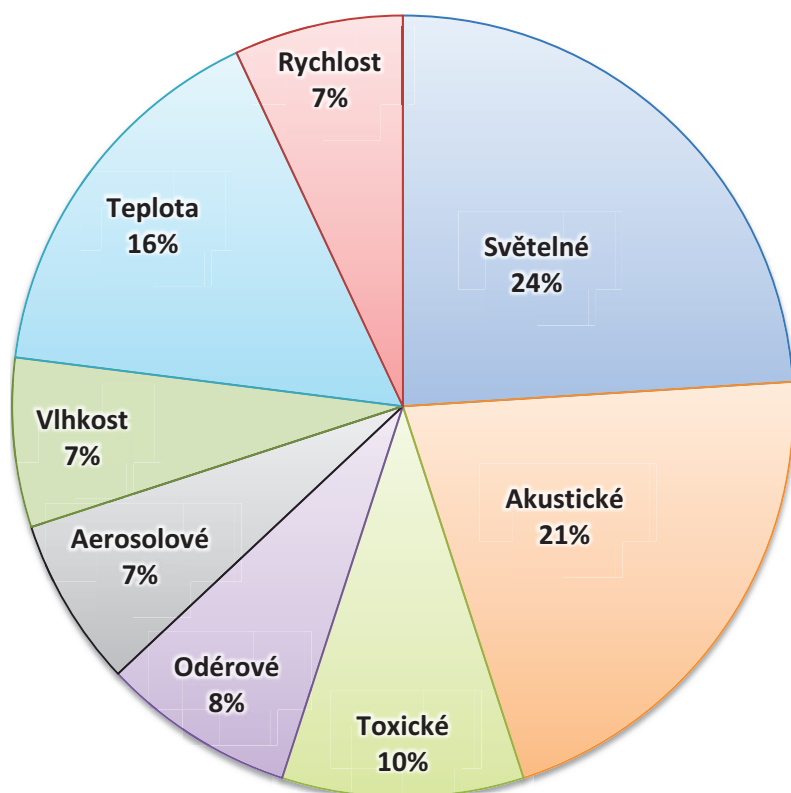
1. ÚVOD

Vzduch je základní teplotonosnou látkou VZT systémů, kde se v reálných podmínkách vyskytuje jako vlhký. Je tvořen směsí suchého vzduchu a vodní páry. Tyto dvě složky se vzájemně vůbec neovlivňují, tedy chovají se stále podle stejných zákonitostí, ale právě poměr složek výsledné směsi zásadně ovlivňuje kvalitu ovzduší interního mikroklimatu (samozřejmě ještě vedle dalších faktorů, mezi které bezpodmínečně patří koncentrace CO_2 , oděry, množství aerosoly, toxická znečištění...atd.). Podle množství obsahu vodní páry pak může vlhkost vnitřního vzduchu negativně ovlivňovat zdraví uživatelů jak přímo nízkou či vysokou relativní vlhkostí nebo přímo vytvořením podmínek pro bujení mikroorganismů a plísní.

Vnitřní prostředí (mikroklima) je omezená část, jehož stav tvoří agencie představující energetické a hmotnostní toky mezi dvěma prostředími. Kvalita vzduchu je těžko

specifikovanou veličinou, kterou ovlivňuje několik složek, mezi které řadíme:

- Tepelně vlhkostní mikroklima (teplota, vlhkost a rychlost proudění)
- Světelné
- Akustické
- Toxické
- Odérové
- Aerosolové



Graf 1 - Podíly složek mikroklimatu

Hodnoty mikroklimatických podmínek udává vyhláška 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb s výjimkou mimořádně teplých nebo mimořádně chladných dnů. Za mimořádně teplý den je považován den, kdy nejvyšší teplota venkovního vzduchu dosáhla hodnoty vyšší než 30 °C a za mimořádně chladný den se považuje den, kdy teplota klesne pod hodnotu -15 °C. Tato vyhláška stanovuje vyhovující mikroklimatické podmínky pomocí limitních hodnot výsledné teploty vzduchu kulového teploměru, relativní vlhkosti, rychlosti proudění vzduchu, koncentrace škodlivin aj.

V běžných pobytových místnostech nedochází k výraznému zvlhčování vzduchu, které by mohlo mít za následek negativní dopad na zdraví uživatele. Toto riziko nastává v prostorách speciálního charakteru užívání, mezi které nepochybně patří gastronomické provozy, ve kterých vzniká velké množství vodní páry vlivem vaření (nebo ohřívání) pokrmů, dále v prostorách skladování potravin, mrazíren a dozráváren, ale především v objektech určených ke sportovnímu a relaxačnímu odpočinku osob nazývaných obecně jako wellness centra. V těchto prostorách se zvýšená vlhkost ovzduší projevuje vlivem většího tělesného vypětí, a tudíž zvýšených vodních zisků od osob. Dále jsou tyto objekty vybaveny bazény, vířivkami, saunami a jinými obdobnými atrakcemi, které jsou založeny na působení vody v různých skupenstvích.

Předpisem určujícím vnitřní mikroklima v prostoru bazénových hal určuje vyhláška č. 292/2011 Sb., kterou se stanoví požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch, kde příloha 12 stanovuje mikroklimatické požadavky, osvětlení a vnitřní ovzduší bazénové haly krytého bazénu a jeho přilehlých prostor.

FAKTOR PROSTŘEDÍ	HALA BAZÉNU	PŘILEHLÉ PROSTORY PRO UŽIVATELE	VSTUPNÍ HALA
INTENZITA OSVĚTLENÍ	min. 200 luxů – rekreační koupání min. 300 luxů – plavecký výcvik 500 luxů – závody v 50 m bazénu	200 luxů	100 luxů
TEPLOTA VZDUCHU	o 1 – 3 °C vyšší než teplota vody v bazénu	24-27 °C – sprchy 20-22 °C – šatny	min. 17 °C
RELATIVNÍ VLHKOST VZDUCHU	max. 65 %	max. 85 % - sprchy max. 50 % - ostatní prostory	-
INTENZITA VÝMĚNY VZDUCHU	min. 2× za hodinu	min. 8× za hodinu - sprchy 5× - 6× za hodinu – šatny	min. 1× za hodinu

Tabulka 3 - Mikroklimatické požadavky, osvětlení a vnitřní ovzduší bazénové haly krytého bazénu a jeho přilehlých prostor

2. CÍL EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

Cílem experimentálního měření prováděného na fyzickém modelu je zjištění intenzity odpařování vody z volné hladiny do ovzduší vnitřního prostoru, stanovení empirické rovnice popisující tento fyzikální děj a porovnání s již známými algoritmy.

3. POPIS MODELU

Měření probíhalo na skutečném fyzickém modelu simulujícím podmínky vnitřního prostoru bazénové haly. Tedy simulování stavu volné vodní hladiny v uzavřené místnosti větrané nuceným přívodem vzduchu pro odvlhčování. Modelem mělo být co nejlépe postihnuto dynamické chování odparu vody v uzavřené místnosti z volné vodní hladiny při nuceném větrání či přirozené konvekci.

Model se dělí na 4 části:

a. Část simulující uzavřenou bazénovou halu

Tato část modelu se stává z plechu o rozměrech 29,5 × 39 cm, do kterého byla nalita voda známé teploty a známého množství a který byl obalen izolací z molitanu tloušťky 5,0 cm pro minimalizaci úniku tepla z vody přestupem přes stěny plechu. Aby byl prostor nad hladinou uzavřen a věrněji tak simuloval vnitřní bazén, byl plech přikryt víkem vytvořeným z lepenkové krabice. Celý vnitřní prostor (nad hladinou) byl polepen lesklou hliníkovou samolepící páskou pro zamezení nasákavosti lepenky a kvůli zvýšení tepelné reflexe povrchu.

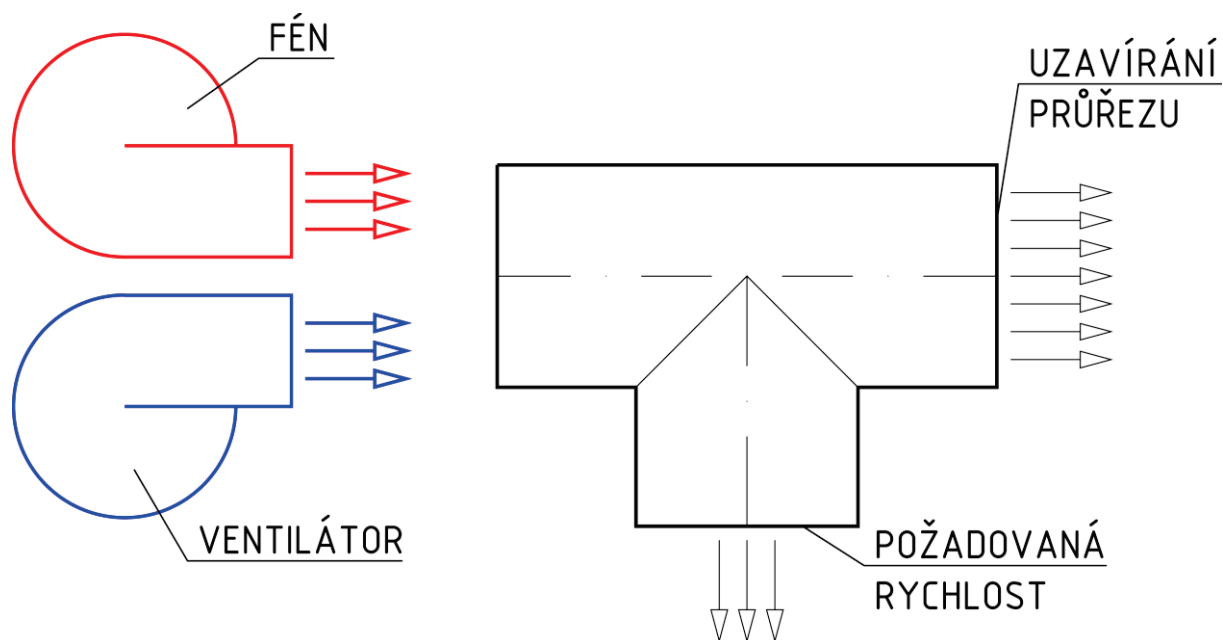
Celá tato část modelu byla osazena na váhu s přesností měření 0,1 g.

b. Část simulující VZT jednotku

Do takto vzniklého prostoru byl přiváděn vzduch simulující nucené teplovzdušné větrání místnosti. Jako zdroj teplého vzduchu bylo zapotřebí užití ventilátoru s ohřevem vzduchu, tedy fénu s dvoustupňovou regulací otáček a plynulou regulací teploty výstupního vzduchu. Pro dosažení požadované teploty k experimentu byl dále použit radiální ventilátor s pětistupňovou regulací otáček pomocí napájecího adaptéru, na kterém je možné nastavení napětí od 6 do 15 V. Směšováním vzduchů vystupujících z obou těchto zdrojů byla dosažena požadovaná teplota.

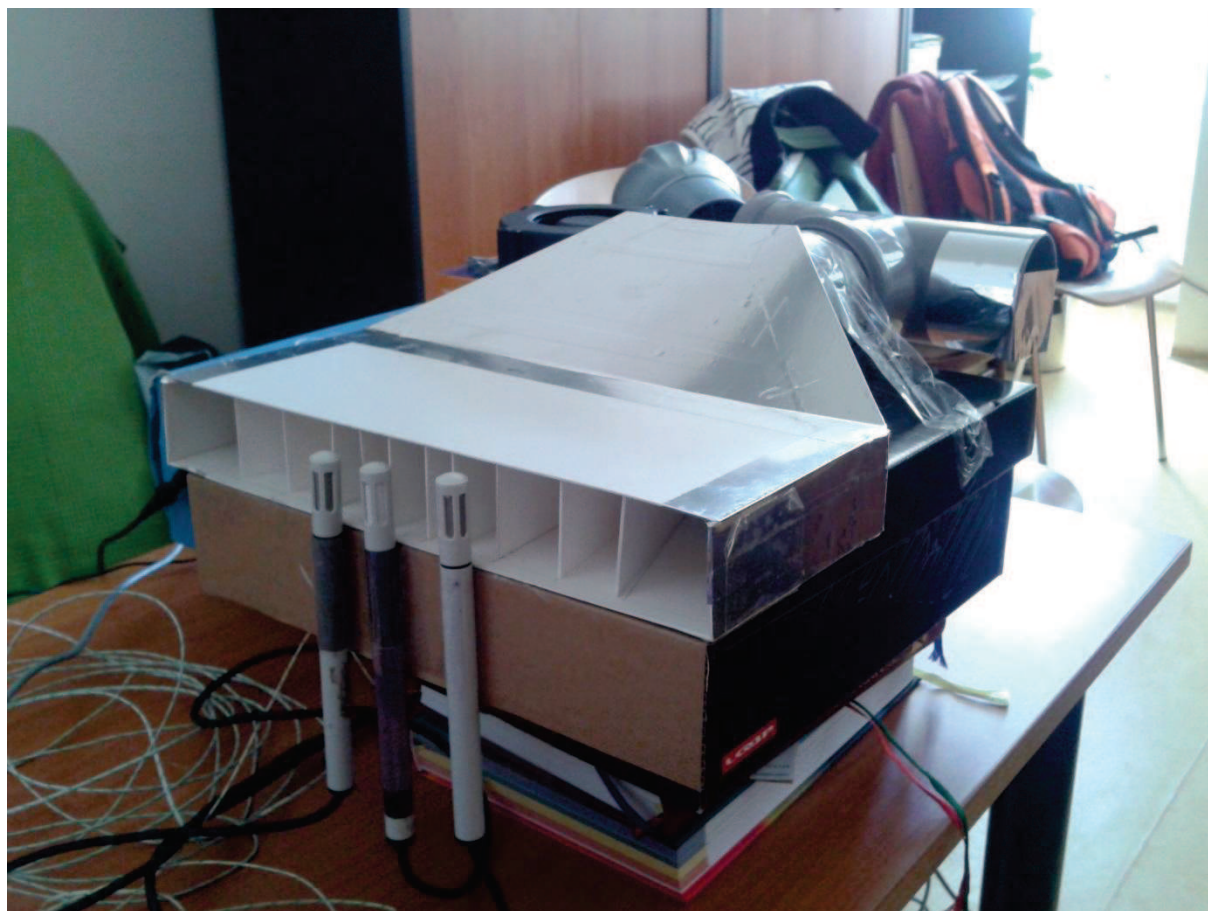
c. Část regulace průtoku vzduchu a vzduchovod

Jelikož byly použity dva zdroje pro přívod vzduchu, tedy dvou-ventilátorová jednotka, byla i výsledná rychlost proudění vzduchu vysoká a tudíž nutná regulace průtoku. Potřebná rychlost byla dosažena pomocí odbočky (T-kusu), do kterého byl v hlavním směru přiváděn vzduch a ve vedlejším směru byl vzduch výstupní s požadovanou rychlostí.



Obrázek 10 - Schéma regulace rychlosti přívodního vzduchu

Jako vzduchovod posloužilo PE potrubí běžně užívané pro vnitřní kanalizaci a pro rovnoměrné rozložení rychlosti nad celou plochou vodní hladiny byl vytvořen difuzor ze stlačovaného polystyrenu, který proudění usměrňuje a vytváří tak konstantní obraz rychlosti proudění po celém průřezu.



Obrázek 11 – Difuzor

d. Snímače, čidla, datalogger a váha

Měřeny byly tyto veličiny:	Teplota vody	t_{voda}	[°C]
	Teplota vzduch	t_{vzduch}	[°C]
	Relativní vlhkost vzduchu	φ	[%]
	Měrná vlhkost vzduchu	x	[g/kg s.v.]
	Rychlost proudění	v_{vzduch}	[m/s]
	Hmotnost vody	m	[g]

Teplotní čidla pro snímání teploty vody:	2 termočláňkové dráty firmy Ahlborn	
	<u>2× ALMEMO ZA 9020-FS Thermo E4</u>	
	NiCr-Ni	Typ K
	BE	NiCr °C
Snímače teploty a vlhkosti vzduchu:	3 tepelně-vlhkostní čidla firmy Ahlborn	
	<u>3× ALMEMO FH A646-E1 Norm R1 E4</u>	
	Temperatur/Freuchtefühler	
	1. TT Ntc	-20...+60 °C
	2. RH %rH	5...98 %F
	3. DT H DT	-25...+100 °C
	4. MH H AH	0...500 g/k
Snímač rychlosti proudění vzduchu:	U: 6...13 V	I: 2 mA
	1 vrtulkový anemometr firmy Ahlborn	
	<u>Zähler FV A915-S220</u>	
	Windgeschw.	0-20 m/s
	BE	S2-20 m/s
Datalogger:	<u>Ahlborn – ALMEMO 2590-4S</u>	
	4 vstupy	
	Napájení čidel:	max. 150 mA
	Vnitřní paměť:	59 kB, s MMC-kartou až 128 MB
	Baterie:	3 alkalické typu AA



Ahlborn – ALMEMO 3290-8

8 vstupů

Napájení čidel: max. 100 mA

Vnitřní paměť: 500 kB

Baterie: nabíjecí baterie 7,2 V; 1,5 Ah

Obrázek 12 - Datalogger ALMEMO 3290-8

Váha: „Přesná váha“ RADWAG WLY 6/12/C1/K

Maximální kapacita: 12 kg

Odečitelnost: 0,1 g

Linearita: $\pm 0,1$ g

Rozměr: 360 × 290 mm

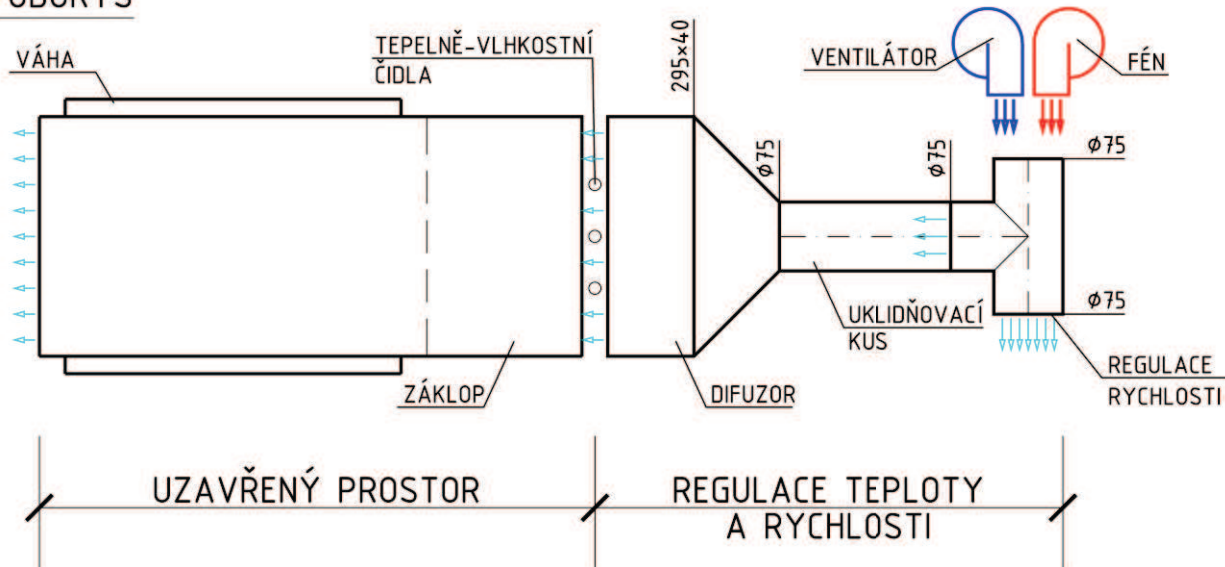
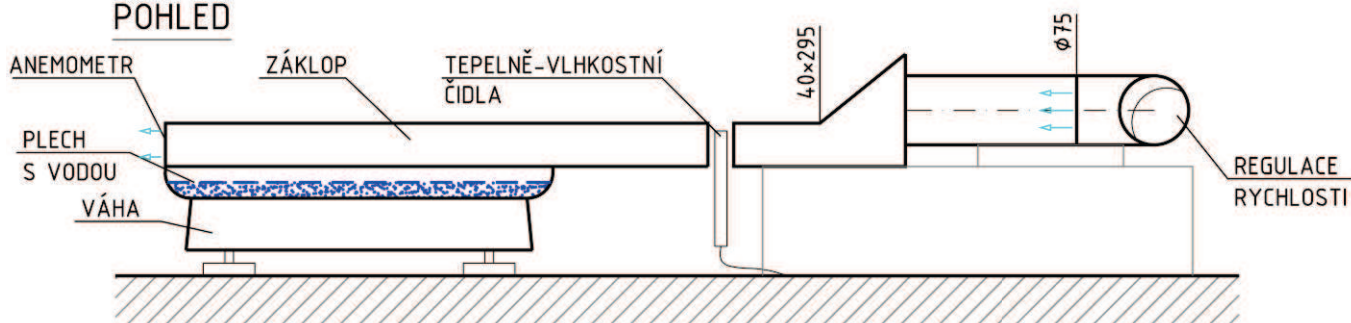
Napájení: 110 ÷ 230 V AC / 50 ÷ 60 Hz / 10,5 ÷ 15 V DC



Obrázek 13 - Váha RADWAG WLY 6/12/C1/K

Osazení čidel

Termočláňkové dráty byly umístěny ve vodě tak, aby konec, tedy čidlo samotné, bylo ve styku pouze s vodou. Obě čidla byla napojena na jeden datalogger. Všechna tepelně-vlhkostní čidla byla osazena pouze na výstupní vzduch z difuzoru a zapojena do dataloggeru ALMEMO 2590-4S. Vlhkost a teplota vzduchu odváděného z prostoru simulujícího vnitřní bazén měřena nebyla. Naopak na výstupu byla měřena rychlost proudění a to ve středu, kde by dle známých teorií měla být nejvyšší.

PŮDORYSPOHLED

Obrázek 14 - Model - popis částí

4. POSTUP MĚŘENÍ

a. Sestavení modelu

- Model byl sestaven
- v jeden celek tak, aby věrně simuloval proudění vzduchu nad vodní hladinou v uzavřených bazénových halách
 - v kanceláři E508 za běžného užívání



Obrázek 15 - Fotografie sestaveného modelu

b. Regulace požadované teploty a rychlosti proudění vzduchu

Regulování teploty bylo realizováno formou směšování teplého a studeného vzduchu ze dvou různých zdrojů regulací otáček, tedy kvantitativní regulace. Pomocí zužování průřezu T-kusu byla dosažena potřebná rychlost na výstupu z prostoru nad hladinou (viz Obrázek 10).

c. Regulace požadované teploty vody

Teplota kapaliny byla regulována opět pomocí směšování teplé a studené vody než se ustálila na požadované hodnotě.

d. Měření

Na popsaném modelu bylo provedeno 5 měření. Jednotlivé úkony probíhaly následovně:

- Odečtení množství nalité kapaliny a vytárování váhy
- Osazení poklopu
- Spuštění ventilátoru a fénu
- Spuštění ukládání hodnot do paměti měřících přístrojů s časovým krokem 10 s
- Zápis stavových veličin v časovém kroku 1 minuta

Po ustálení teploty vody

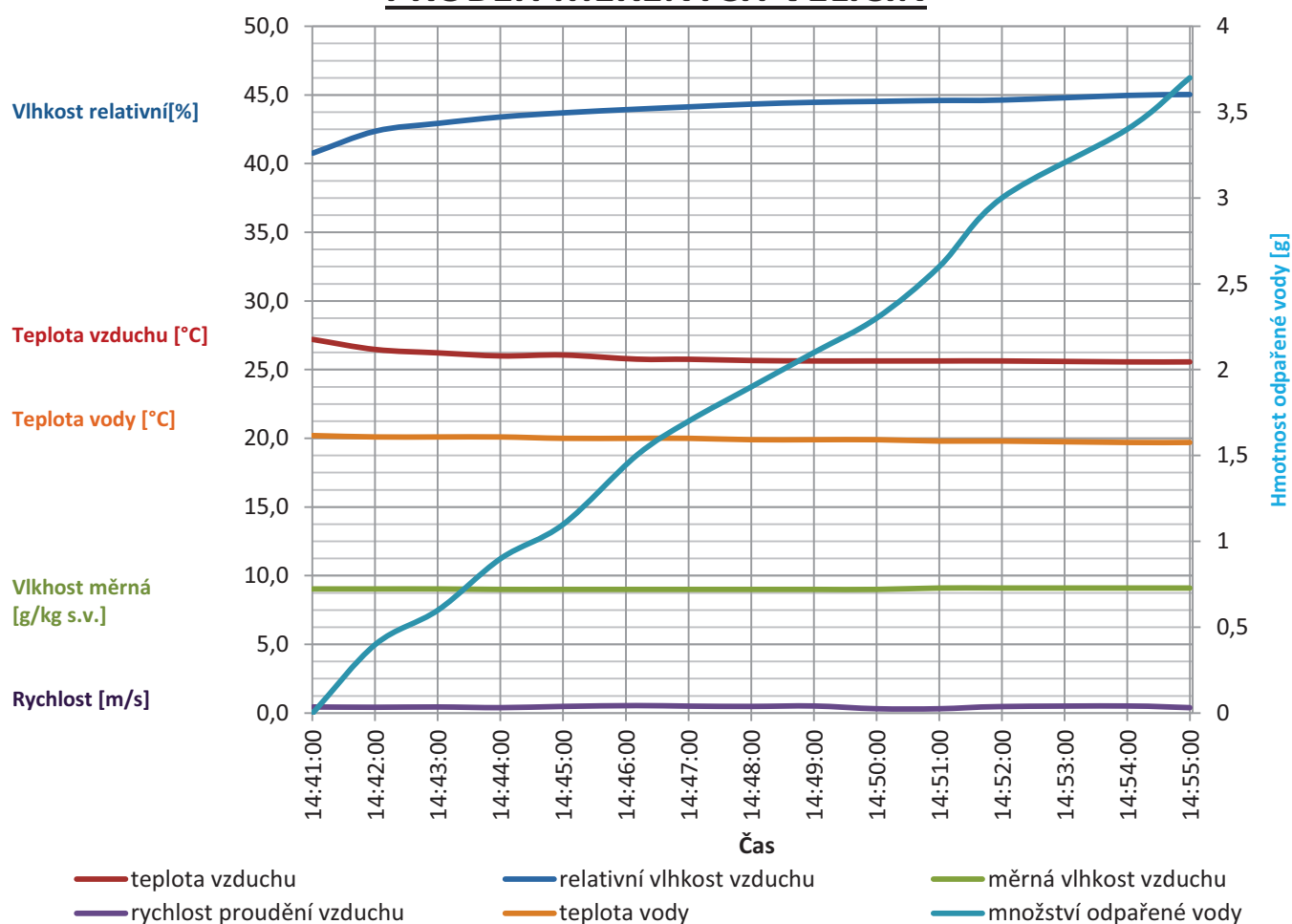
- Vypnutí ukládání hodnot do paměti dataloggerů
- Vylití vody
- Uložení naměřených hodnot z dataloggeru do počítače
- Zpracování dat

5. ZPRACOVÁNÍ DAT

a. Měření č. 01 – Minimální teplota pro bazény

Minimální teplota pro bazénovou vodu je teplota 18 °C. Při měření byla počáteční teplota vody regulována na cca 20 °C, což může být považováno za bazén plavecký. Průměrná teplota vzduchu nuceného větrání 26 °C. Měření probíhalo po dobu 15 min.

PRŮBĚH MĚŘENÝCH VELIČIN



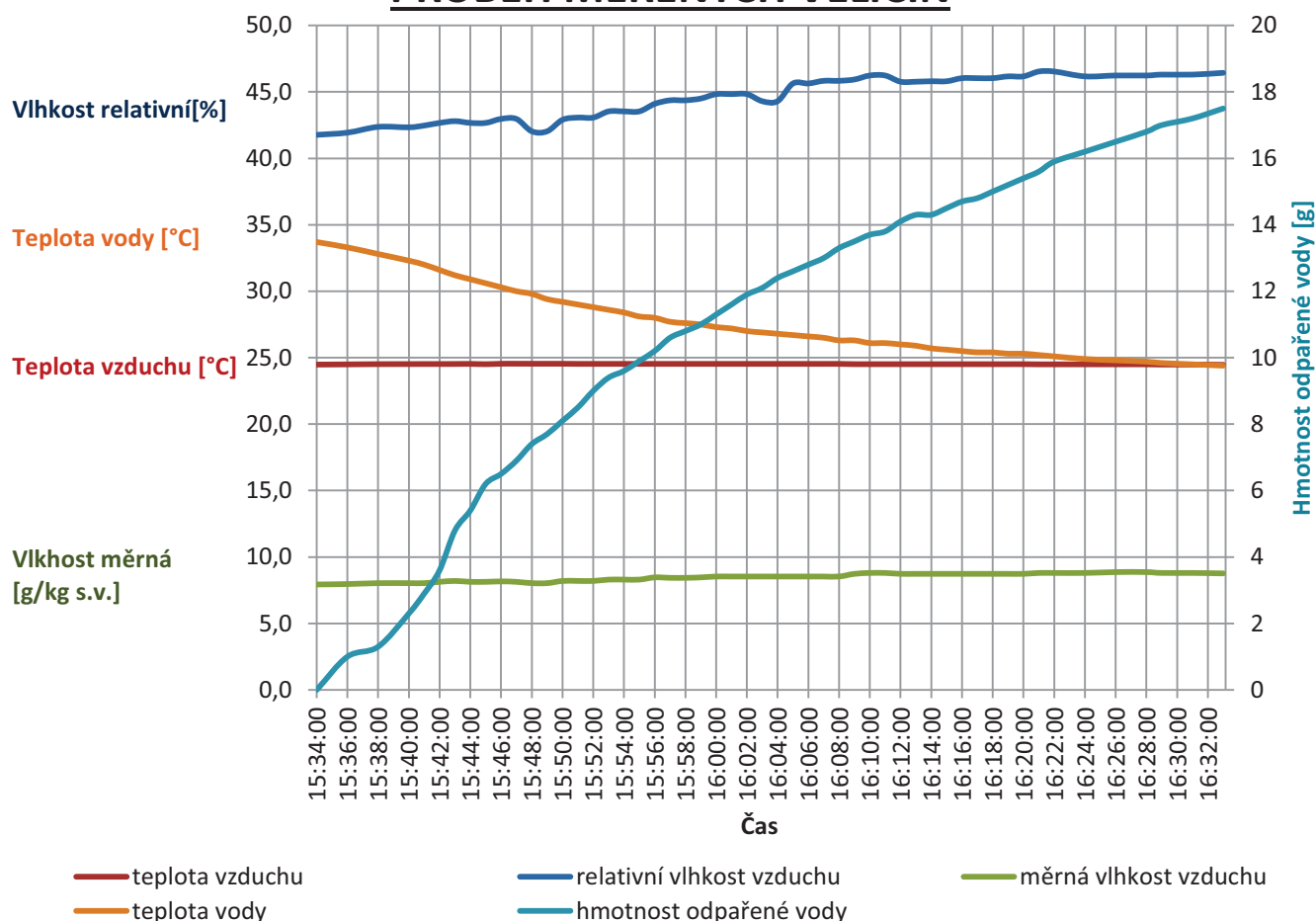
Graf 2 - Měření č. 01 - Průběh měřených veličin

Z Graf 2 je možné sledovat, že všechny veličiny jsou téměř konstantní nebo se jen lehce mění a tudíž i intenzita vypařování je lineárního charakteru.

b. Měření č. 02 – Odpar přirozenou konvekci

Druhé měření sleduje rychlost odpařování z volné vodní hladiny bez nuceného proudění vzduchu nad hladinou. V této variantě tedy rychlost proudění měřena nebyla. Aby bylo zřejmé, jak velký je odpar přirozenou konvekci při různých teplotách vody, byla počáteční teplota vody vyregulována na 34 °C. Teplota okolního vzduchu (tedy teplota v místnosti) se pohybovala kolem 24,5 °C po celou dobu měření.

PRŮBĚH MĚŘENÝCH VELIČIN



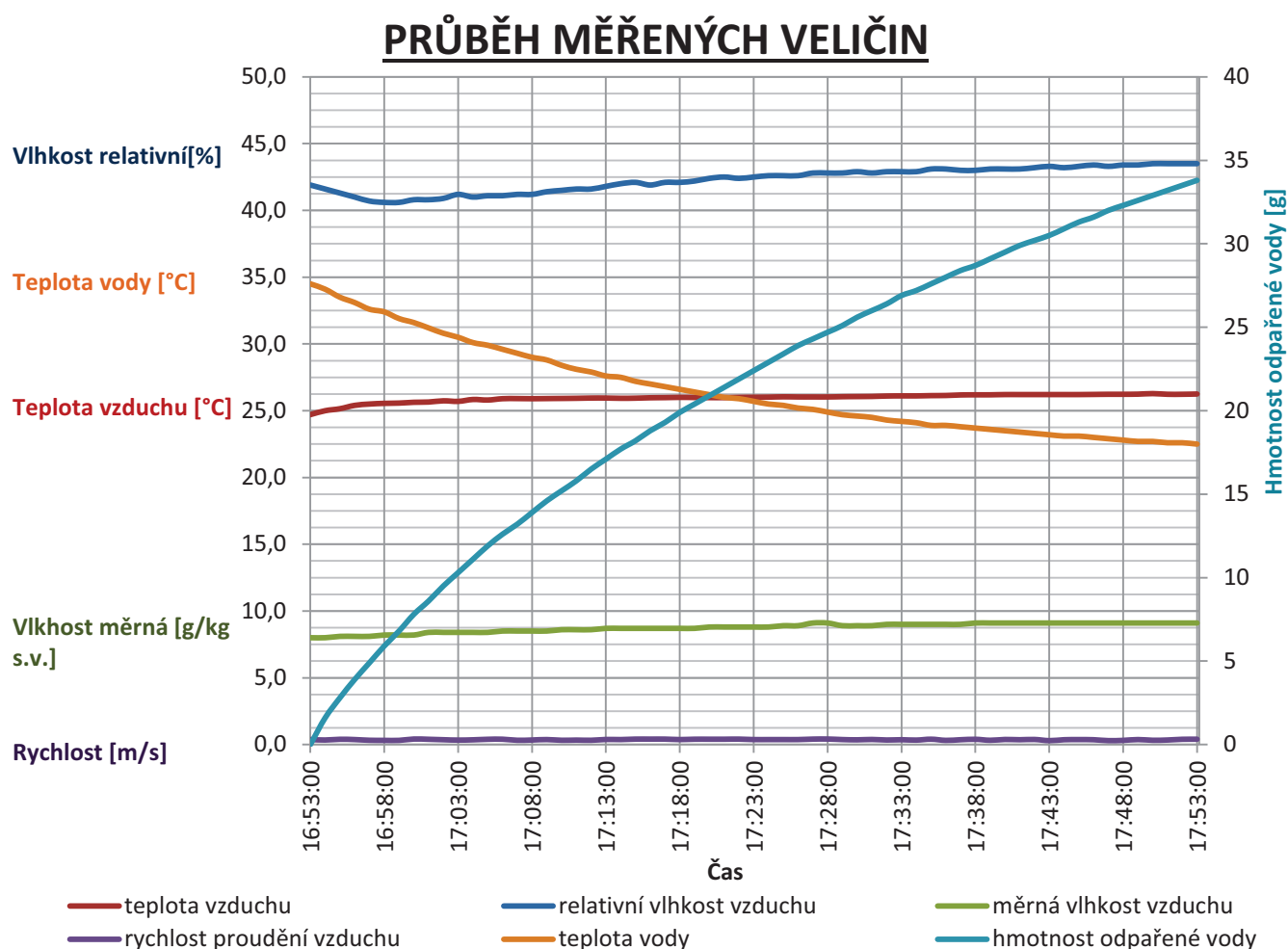
Graf 3 - Měření č. 02 - Průběh měřených veličin

Měření bylo ukončeno při vyrovnání teplot vody a okolního ovzduší. Z Graf 3 je patrné, že vlhkost okolního vzduchu roste s rostoucím množstvím odpařené vody z vodní hladiny. Tento jev se samozřejmě vyskytuje i při zbývajících měřeních, ovšem v tomto měření se projevuje průkazněji z důvodu nepůsobení nuceného proudění upraveného vzduchu dané

vlhkosti. Poklesy vlhkosti jsou způsobeny nepředvídaným narušením měření cizích osob nerespektujících výzvu na dveřích s nápisem „Prosím nevstupovat“ a tím zapříčinění výměnu vzduchu v místnosti se vzduchem místnosti vedlejší (chodby). Dále můžeme z grafu vypočítat, že intenzita samovolného odpařování je při vyšších teplotách vody větší a při nižších teplotách se snižuje.

c. Měření č. 03 – Odpar s nucenou konvekcí vzduchu o teplotě 26 °C

Třetí měření prezentuje teplovzdušné větrání bazénových hal. Teplota přívodního vzduchu byla regulována asi na 26 °C. Teplota vody byla stejně jako při měření druhém vyregulována přibližně na hodnotu 34 °C a sledována při chladnutí po dobu 1 hodiny.



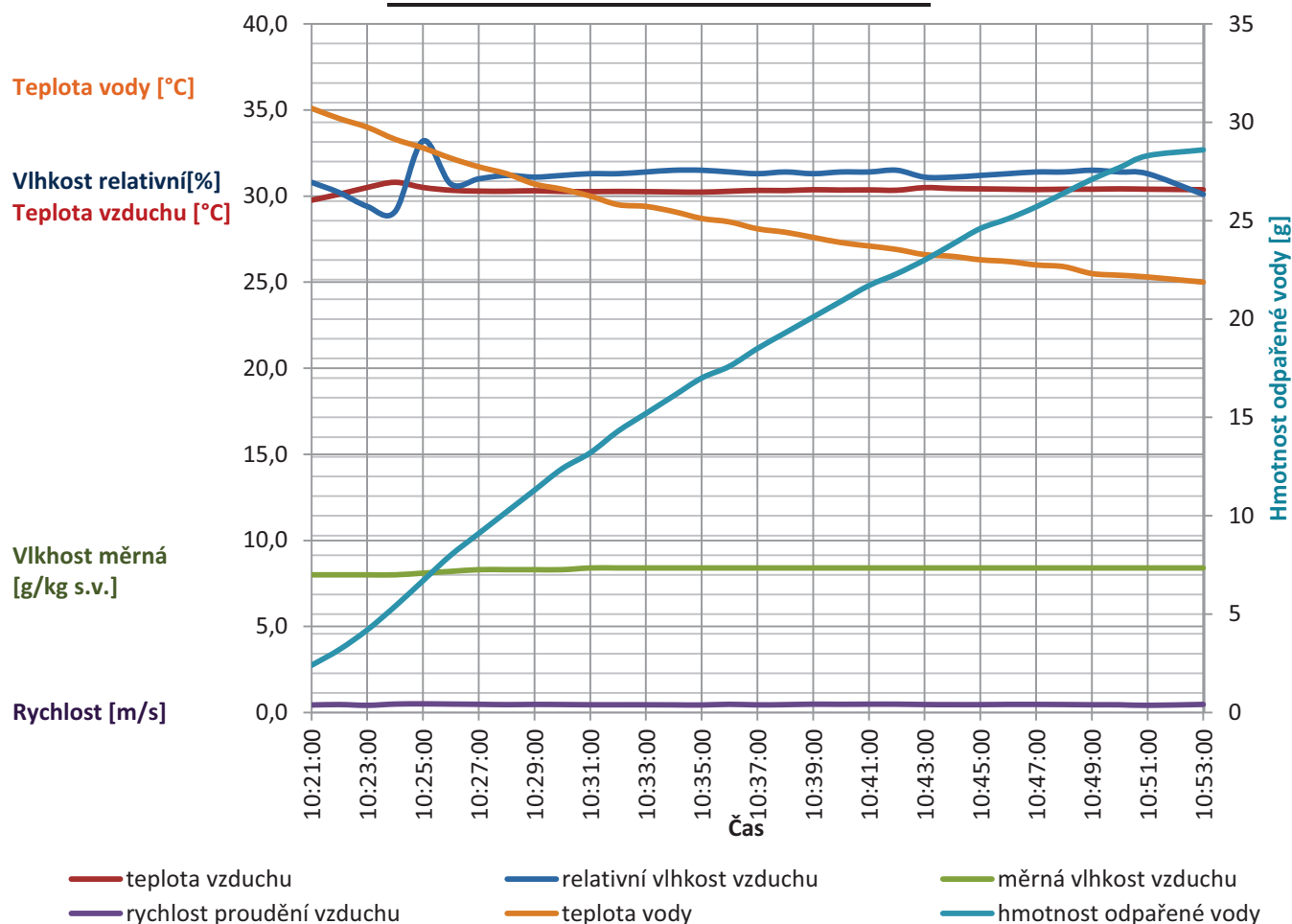
Graf 4 - Měření č. 03 - Průběh měřených hodnot

Z předchozího Graf 4 vyplývá, že při nucené konvekci může klesnout teplota vody pod teplotu vzduchu nad vodní hladinou.

d. Měření č. 04 - Odpar s nucenou konvekci vzduchu o teplotě 30 °C

Další měření probíhalo za téměř stejných podmínek jako měření třetí. Jedinou změnou oproti měření 03 je vyšší teplota vzduchu, kterým se ofukuje vodní hladina. Počáteční teplota vody byla obdobně nastavena na hodnotu 35 °C.

PRŮBĚH MĚŘENÝCH VELIČIN

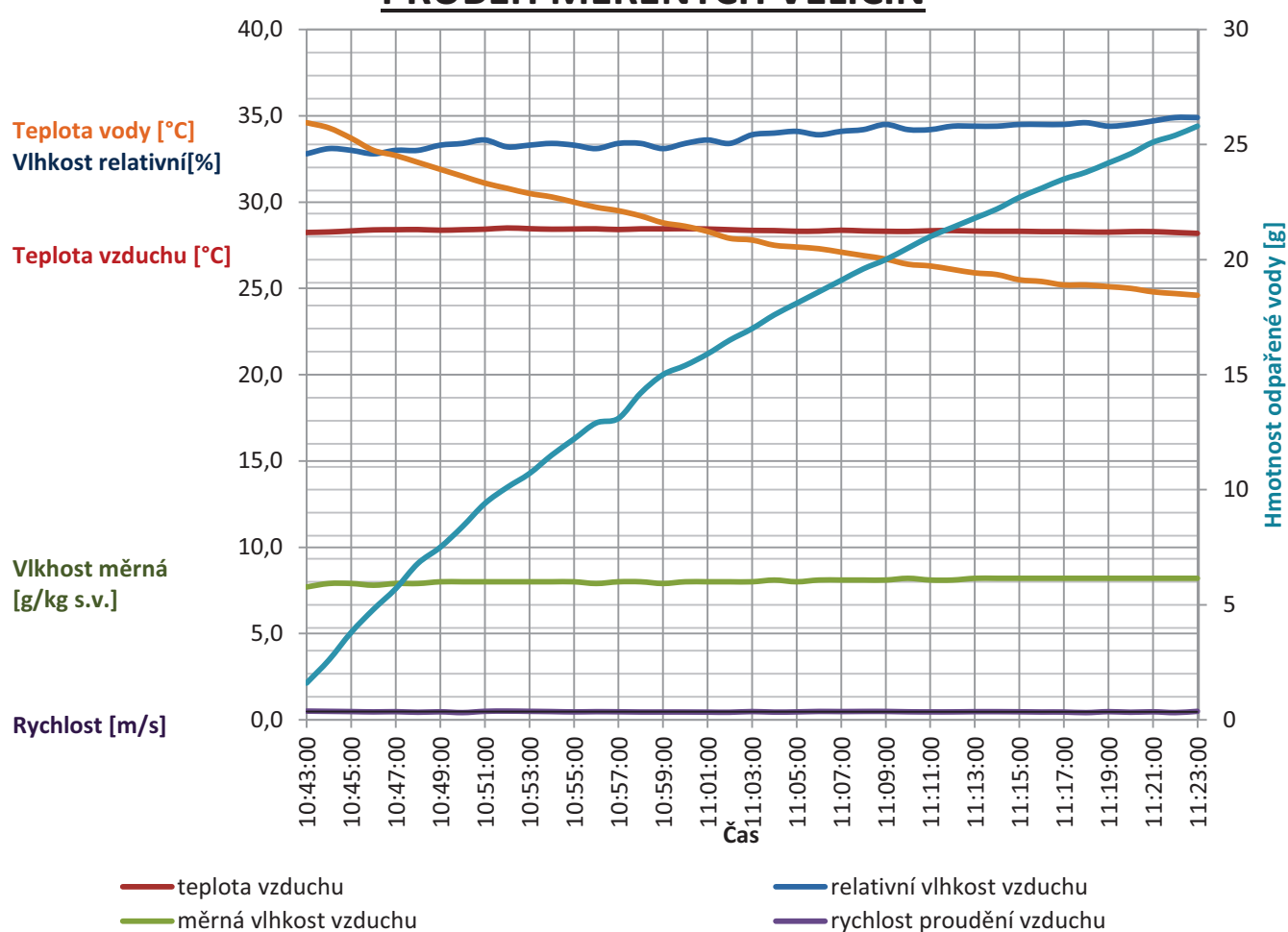


Graf 5 - Měření č. 04 - Průběh měřených hodnot

V Graf 5 je názorně předvedeno, že intenzita odpařování při ofukování teplejším vzduchem je vyšší. Také je z grafu patrné, že zařízení, kterým se vhání nad volnou hladinu ohřátý vzduch, nemá možnost regulace vlhkosti. Jinými slovy čím vyšší teplota, tím nižší vlhkost přívodního vzduchu.

e. Měření č. 05 - Odpar s nucenou konvekcí vzduchu o teplotě 28 °C

Jelikož bylo prokázáno, že intenzita se s teplotou přívodního vzduchu mění, zvolil jsem ještě poslední variantu s přívodním vzduchem o teplotě 28 °C. Ostatní vstupní hodnoty byly ponechány tak, jako v měřeních předešlých, tedy teplota vody cca 35 °C, rychlost proudění vzduchu kolem 0,46 m/s.

PRŮBĚH MĚŘENÝCH VELIČIN

Graf 6 - Měření č. 05 - Průběh měřených hodnot

6. Vyhodnocení a matematický popis odpařování

Během měření bylo zpracováno velké množství dat, která prokazují závislost intenzity odpařování vodní páry z volné vodní hladiny do okolního vzduchu. Tuto závislost jsem se pokusil popsat i matematickým zápisem a vytvořit tak obecnou rovnici, jež bude co nejpresněji vystihovat zkoumaný dynamický fyzikální jev a kterou si bude moci každý určit množství odpařené vody za daných podmínek.

Jelikož bylo dokázáno, že rychlost odpařování a množství odpařené vodní páry je závislé na mnoha veličinách, mezi které patří:

- Teplota přívodního vzduchu	$t_{\text{vzduch}} [^{\circ}\text{C}]$
- Měrná vlhkost přívodního vzduchu	$x_{\text{vzduch}} [\text{g/kg s.v.}]$
- Parciální tlak vodních par přívodního vzduchu	$p_{D,\text{vzduch}} [\text{Pa}]$
- Rychlost proudění přívodního vzduchu	$v_{\text{vzduch}} [\text{m/s}]$
- Teplota vody	$t_{\text{voda}} [^{\circ}\text{C}]$
- Měrná vlhkost vzduchu při teplotě vody	$x_{\text{voda}} [\text{g/kg s.v.}]$
- Parciální tlak sytých vodních par vzduchu při teplotě vody	$p_D''_{\text{voda}} [\text{Pa}]$

Ve skutečnosti odpar závisí na rozdílech veličin, které jsou odvozeny z měřitelných stavových veličin. Proto bylo při odvozování využito nejhojněji užívaného rozdílu parciálních tlaků vodních par (na kterém je i postavena německá norma VDI 2089) a rychlosti proudění vzduchu (v_{vzduch}). Rovnice v obecném tvaru tedy dostala následující tvar:

$$\dot{m} = a \cdot (p_D'' - p_{D,\text{vzduch}})^b \cdot v_{\text{vzduch}}^c$$

Rovnice 13 - Obecný tvar rovnice množství hmotnostního toku popisující nucenou konvekci

Neznámými jsou konstanty a , b , c , které je třeba dopočítat. Díky velkému množství dat, která byla naměřena a pouze třem neznámým je soustava rovnic několikanásobně přeuročita a tudíž lze počítat pomocí metody nejmenších čtverců (MNČ).

POSTUP:

- Upravení rovnice do tvaru, aby bylo možné určit konstanty:

$$\dot{m} = a \cdot (p_D'' - p_{D,vzduch})^b \cdot v_{vzduch}^c$$

$$\ln(\dot{m}) = \ln(a \cdot (p_D'' - p_{D,vzduch})^b \cdot v_{vzduch}^c)$$

$$\ln(\dot{m}) = \ln(a) + \ln((p_D'' - p_{D,vzduch})^b) + \ln(v_{vzduch}^c)$$

$$\ln(\dot{m}) = \ln(a) + b \cdot \ln(p_D'' - p_{D,vzduch}) + c \cdot \ln(v_{vzduch})$$

- Upravenou rovnici skalárně přenásobíme známými vektory:

$$\begin{pmatrix} \langle \ln(\dot{m}); 1 \rangle \\ \langle \ln(\dot{m}); \ln(p_D'' - p_{D,v}) \rangle \\ \langle \ln(\dot{m}); \ln(v_v) \rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ln(a) \\ b \\ c \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \langle 1; 1 \rangle & \langle \ln(p_D'' - p_{D,v}); 1 \rangle & \langle \ln(v_v); 1 \rangle \\ \langle 1; \ln(p_D'' - p_{D,v}) \rangle & \langle \ln(p_D'' - p_{D,v}); \ln(p_D'' - p_{D,v}) \rangle & \langle \ln(v_v); \ln(p_D'' - p_{D,v}) \rangle \\ \langle 1; \ln(v_v) \rangle & \langle \ln(p_D'' - p_{D,v}); \ln(v_v) \rangle & \langle \ln(v_v); \ln(v_v) \rangle \end{pmatrix}$$

- Dosazením číselných hodnot a vypočtením dostáváme tvar

$$\begin{pmatrix} -476,42 \\ -3607,74 \\ 674,05 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ln(a) \\ b \\ c \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 183 & 1396,46 & -239,91 \\ 1396,46 & 10683,26 & -1820,92 \\ -239,91 & -1820,92 & 442,08 \end{pmatrix}$$

- Dostaneme 4 rovnice o 4 neznámých, které snadno vyřešíme například pomocí Gaussovy eliminační metody:

$$\begin{pmatrix} -476,42 \\ 28,81 \\ 49,46 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ln(a) \\ b \\ c \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 183 & 1396,46 & -239,91 \\ 0 & 27,0 & 9,83 \\ 0 & 9,83 & 127,56 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} -476,42 \\ 28,81 \\ 38,97 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ln(a) \\ b \\ c \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 183 & 1396,46 & -239,91 \\ 0 & 27,0 & 9,83 \\ 0 & 0 & 123,98 \end{pmatrix}$$

$$c = \frac{38,97}{123,98} = \mathbf{0,314}$$

$$b = \frac{28,81 - 9,83 \cdot 0,314}{27,0} = 0,953$$

$$\ln(a) = \frac{-476,42 + 239,91 \cdot 0,314 - 1396,46 \cdot 0,953}{183} = -9,46076$$

$$a = e^{-9,46076} = 7,78 \cdot 10^{-5}$$

- Výsledná rovnice s určenými konstantami má tvar:

$$\dot{m} = 7,78 \cdot 10^{-5} \cdot (p_D'' - p_{D,v})^{0,953} \cdot v_v^{0,314}$$

\dot{m} ... hmotnostní tok [$g \cdot s^{-1}$]

p_D'' ... tlak syté páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody [Pa]

$p_{D,v}$... tlak páry při teplotě vnitřního vzduchu [Pa]

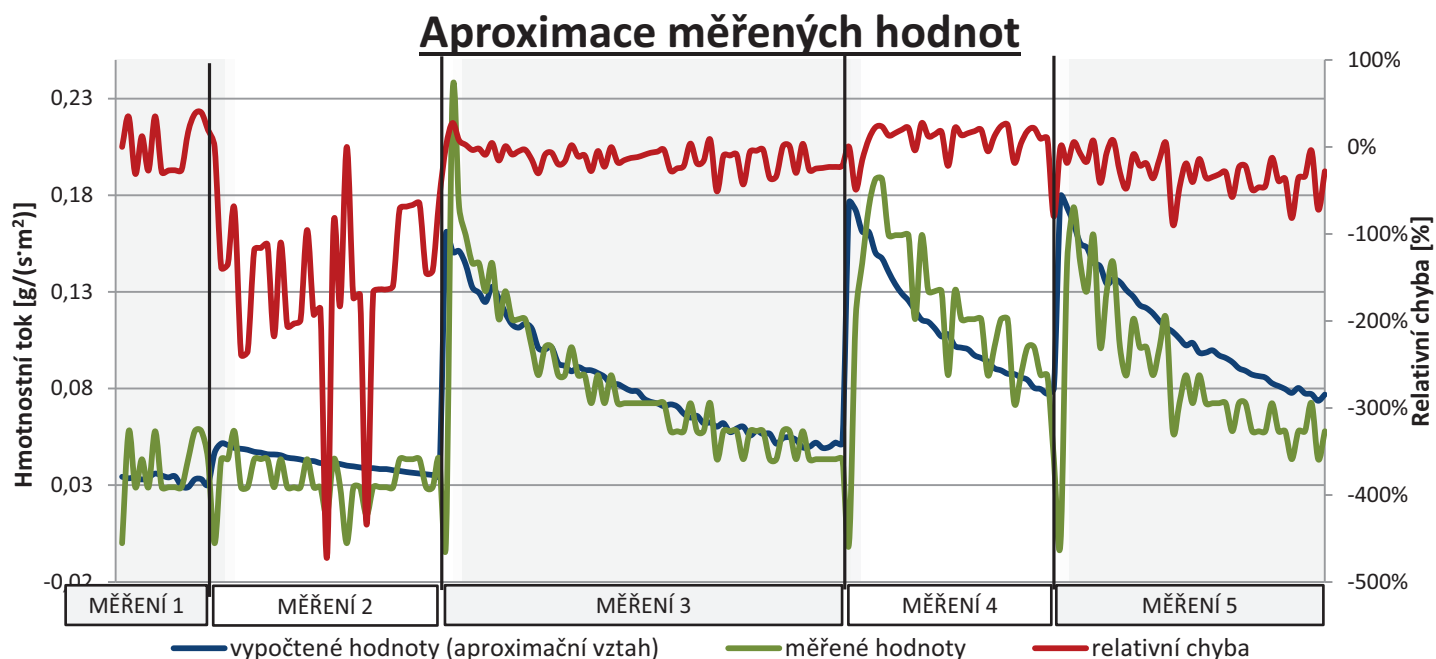
v_v ... rychlost proudícího vzduchu nad hladinou [$m \cdot s^{-1}$]

Rovnice 14 - Aproximovaná rovnice množství odpařené vodní páry

- Kontrola: Dosazením do vypočtené rovnice a porovnáním s hodnotou skutečnou byla zjištěno zatížení relativní chybou:

$$err_{průměr} = 12 \%$$

Průběh vypočtených hodnot pomocí Rovnice 14 a relativní chyby mezi naměřenými hodnotami a hodnotami aproximovanými zobrazuje Graf 7.

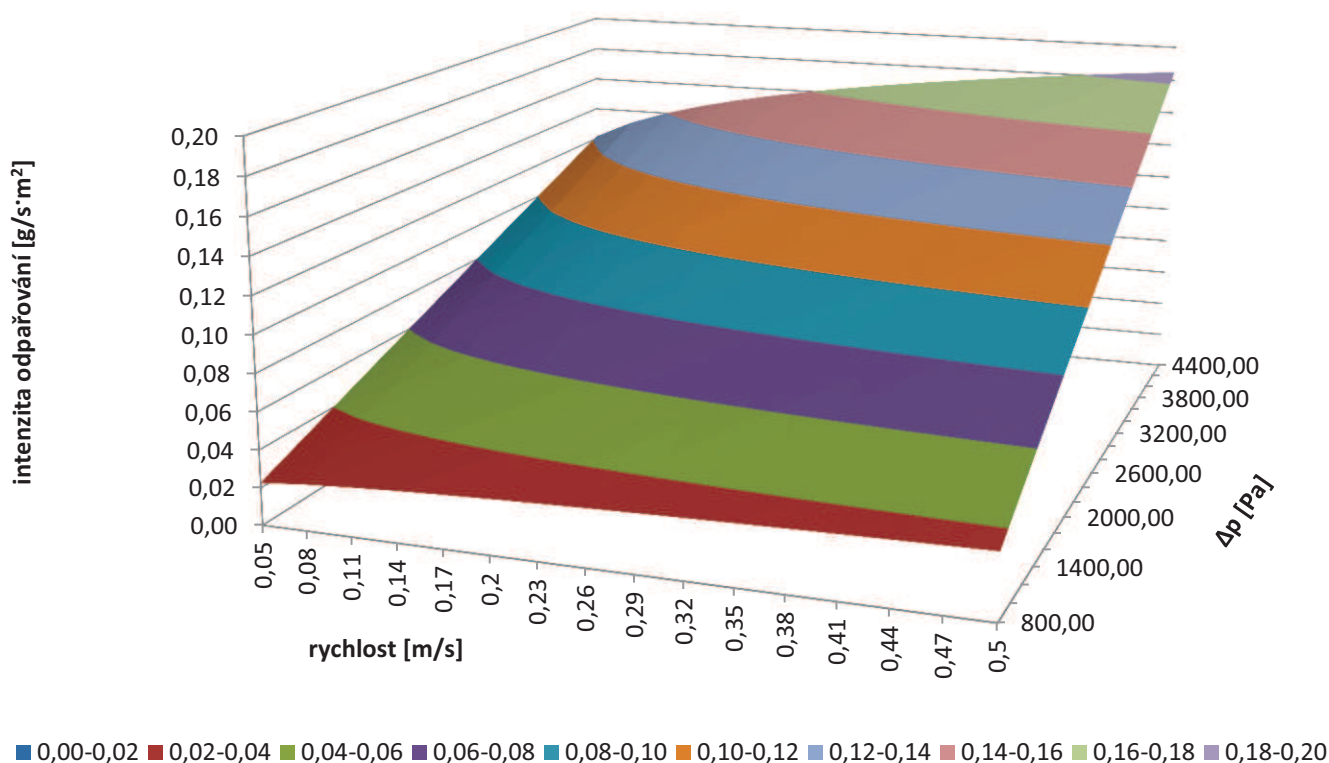


Graf 7 - Srovnání měření s aproximační formulí

Rozsah použití aproximační rovnice:

- Teplota vzduchu: 24,0 až 30,8 °C
- Teplota vody: 19,7 až 35,1 °C
- Rychlost: 0,05 až 0,51 m/s
- Rozdíl parciálních tlaků: 820 až 4360 Pa

Rovnice byla sestavena tak, že poměrně věrně popisuje odpar z volné vodní hladiny. Následující 3D graf (Graf 8) zobrazuje skutečnost, že s vyšším rozdílem parciálních tlaků roste hodnota hmotnostního toku a stejně tak je tomu s rostoucí rychlostí proudícího vzduchu.



Graf 8 - Závislost hmotnostního toku na rychlosti a rozdílu parciálních tlaků

7. POROVNÁNÍ MĚŘENÍ S JIŽ ZNÁMÝMI ALGORITMY

a. Německá norma VDI 2089 (starší vydání) – Technické vybavení krytých bazénů

Norma popisuje postup výpočtu hmotnostního toku odpařené vodní páry z volné hladiny bazénu do okolního vzduchu. Pro množství odpařené vody používá vztahu:

$$m_{wo} = \varepsilon \cdot S_h \cdot (p''_{w(t_w)} - p_{v(t_i)})$$

Rovnice 15 - Rovnice přenosu hmoty dle VDI 2089 (starší vydání)

m_{wo} ... hmotnostní tok [$g \cdot s^{-1}$]

ε ... součinitel přenosu hmoty (hodnoty viz Tabulka 4) [$g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-1}$]

S_h ... plocha volné vodní hladiny [m^2]

$p''_{w(t_w)}$... tlak syté páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody [Pa]

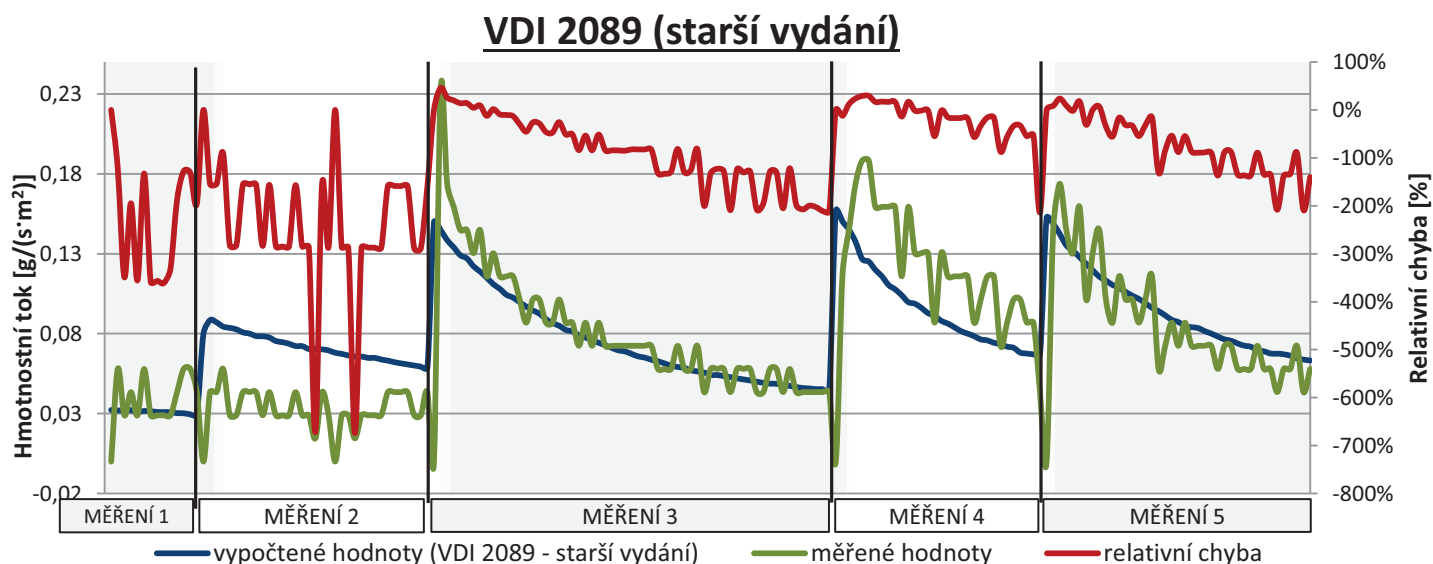
$p_{v(t_i)}$... tlak páry při teplotě vnitřního vzduchu [Pa]

Tabulka 4 - Hodnoty součinitele přenosu hmoty ε

Charakter provozu	ε [g·m ⁻² ·s ⁻¹ ·Pa ⁻¹]
Soukromý bazén	$3,6 \cdot 10^{-5}$
Veřejný bazén	$7,8 \cdot 10^{-5}$
Bazén s umělými vlnami	$9,7 \cdot 10^{-5}$

Pro výpočet byla zvolena hodnota součinitele přenosu vodní páry pro soukromý bazén, tedy s velice nízkým výskytem nuceného víření hladiny, jelikož experimentální měření probíhalo na klidné vodní hladině.

Průběh vypočtených hodnot dle Rovnice 15 je zobrazen v grafu (Graf 9). Taktéž tento graf znázorňuje průběh měřených veličin a relativní rozdíl mezi měřenými a vypočtenými hodnotami. Průměrná relativní chyba výpočtu je 19 %.



Graf 9 - Srovnání měření s VDI 2089 (starší vydání)

b. Německá norma VDI 2089 (nové vydání) – Technické vybavení krytých bazénů

Novelizovaná norma již nepoužívá součinitel přenosu hmoty ϵ v jednotkách $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$, ale součinitele přenosu hmoty β v jednotkách $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$. Hodnoty součinitele β odečteme z následující tabulky (Tabulka 5).

Tabulka 5 - Hodnoty součinitele přenosu hmoty β

Charakter provozu	Nepoužívaný bazén $\beta [\text{m}\cdot\text{h}^{-1}]$	Používaný bazén $\beta [\text{m}\cdot\text{h}^{-1}]$
Zakrytý bazén	0,7	-
Soukromý bazén	7	21
Veřejný bazén (hloubka vody >1,35 m)	7	28
Veřejný bazén (hloubka vody <1,35 m)	7	40
Bazén s umělými vlnami	7	50

Pro výpočet byla vybrána hodnota pro používaný soukromý bazén $\beta = 21 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$.

Množství odpařené vody se stanoví podle vztahu:

$$m_{wo} = \frac{\beta_{(p/n)}}{R_v \cdot \bar{T} \cdot 3,6} \cdot S_h \cdot (p''_{w(t_w)} - p_{v(t_i)})$$

Rovnice 16 - Rovnice přenosu hmoty dle VDI 2089 (nové vydání)

m_{wo} ... hmotnostní tok $[\text{g}\cdot\text{s}^{-1}]$

ϵ ... součinitel přenosu hmoty $[\text{m}\cdot\text{h}^{-1}]$

R_v ... plynová konstanta pro vodní páru $[\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}]$

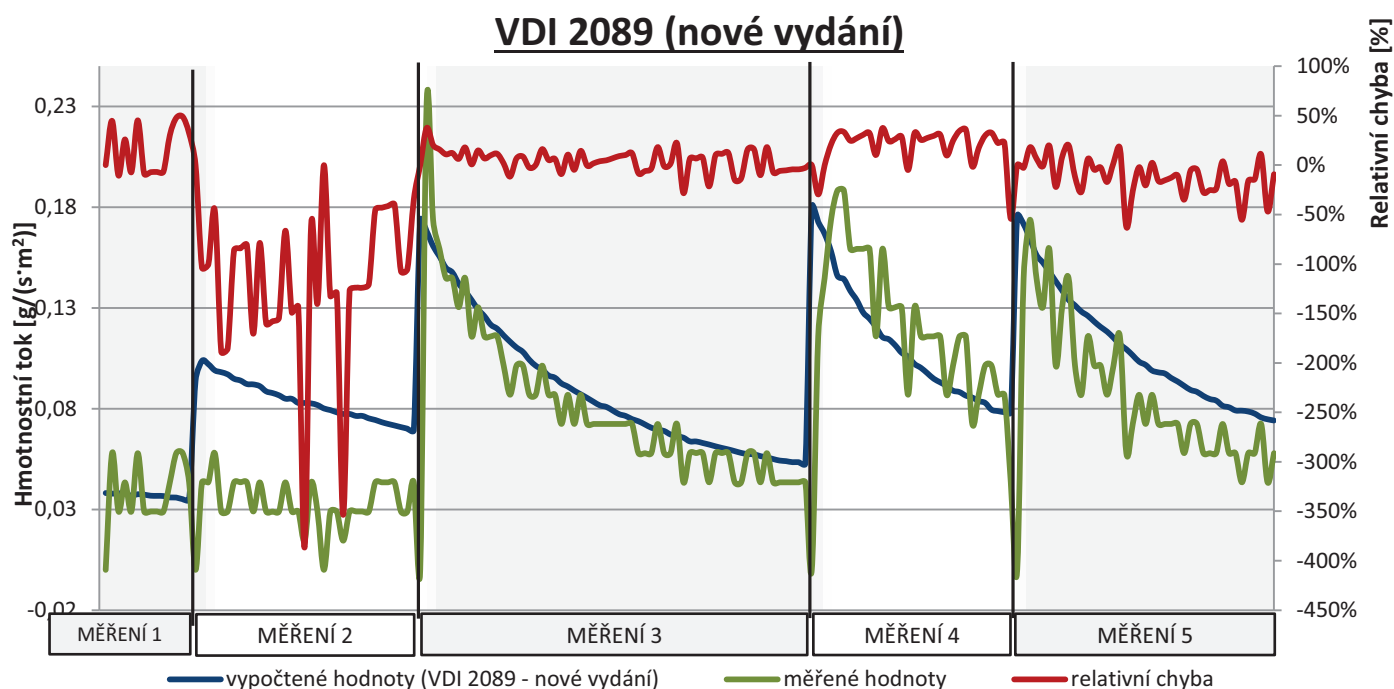
... $R_v = 461,52 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}$

\bar{T} ... aritmetický průměr teploty vody a vzduchu $[\text{K}]$

S_h ... plocha volné vodní hladiny $[\text{m}^2]$

$p''_{w(t_w)}$... tlak syté páry při teplotě vzduchu rovné teplotě vody $[\text{Pa}]$

$p_{v(t_i)}$... tlak páry při teplotě vnitřního vzduchu $[\text{Pa}]$



Graf 10 - Srovnání měření s VDI 2089 (nové vydání)

Z grafu (Graf 10) je patrný průběh vypočtených hodnot podle Rovnice 16 a opět i relativní chybou tohoto vztahu aplikovaného na dané měřené hodnoty. Průměrná chyba této aproximace činí 38 %.

c. Empirický vztah

Pro řešení tepelně vlhkostních přenosů interiérových bazénových hal se často používají různé empirické závislosti. Jako jeden vztah z mnoha byl vybrán dle [12].

$$m_{wo} = \left(8,33 + 3,89 \cdot w - 0,072 \cdot \frac{t_i + t_w}{2} \right) \cdot S_h$$

Rovnice 17 – Empirický vztah odpařování z klidné hladiny

m_{wo} ... hmotnostní tok [$g \cdot s^{-1}$]

w ... rychlost proudícího vzduchu nad hladinou [$m \cdot s^{-1}$]

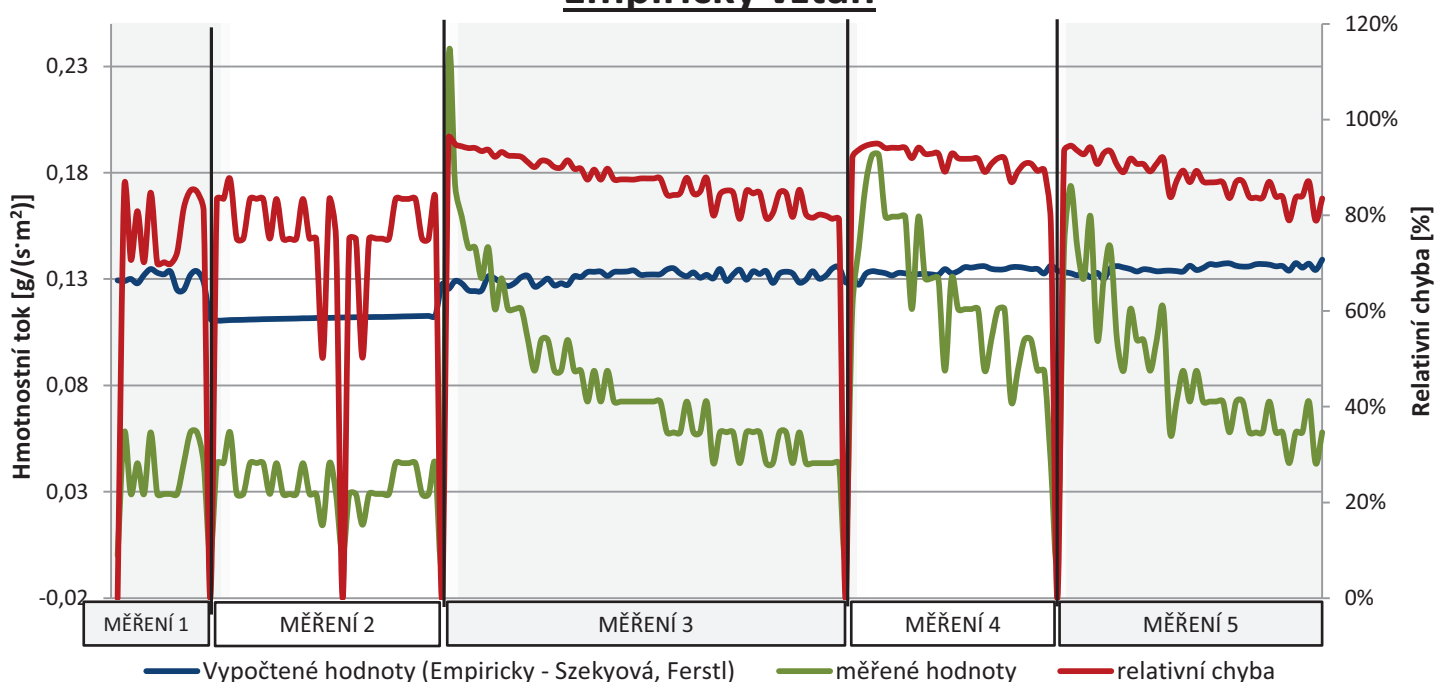
t_i ... teplota vnitřního vzduchu [$^{\circ}C$]

t_w ... teplota vodní hladiny [$^{\circ}C$]

S_h ... plocha volné vodní hladiny [m^2]

Formule platí pro stav vyhřívání vody a jako jediná z již známých vztahů zohledňuje i rychlost proudění vzduchu nad volnou vodní hladinou. Ovšem pro změřené hodnoty velmi nepřesný s průměrnou relativní chybou 112 %, jejíž průběh lze vyčíst z grafu (Graf 11) i s vypočtenými hodnotami dle Rovnice 17.

Empirický vztah



Graf 11 - Srovnání měření s empirickým vztahem (Szekyová, Ferstl, Nový)

d. Porovnání jednotlivých vztahů

Tabulka 6 přehledně srovnává průměrné relativní přesnosti, z nichž vlastní formule dosahuje nejlepší přesnosti, což je do značné míry způsobeno tím, že rovnice vznikla aproximací právě těchto měření.

Tabulka 6 - Porovnání metod výpočtu množství odpařeného množství vody

Metoda	ERR _{relativní}
VDI 2089 (starší vydání)	19 %
VDI 2089 (nové vydání)	38 %
Empirický vztah	112 %
Vlastní formule	12 %

F. APLIKACE VÝPOČETNÍ TECHNIKY

1. ÚVOD

V dnešní moderní době plné technických a technologických vymožeností nezaostává ani obor stavebnictví. Aplikace výpočetní techniky se stále hojněji využívá ve všech specializacích stavebního oboru pro zjednodušení a urychlení výpočtu daného problému ať už komplikovaných či méně komplikovaných úloh. Technické zařízení budov je také silným reprezentantem užívání nejrůznějších softwarů pro výpočet tepelných bilancí místnosti, simulaci potřebné energie na provoz budovy, návrh vzduchotechnických jednotek a jiných zařízení, návrhy a kreslení výkresů potrubí, simulace proudění vzduchu v místnosti...atd.

V zadaném objektu, který je primárně určen k dočasnému ubytování osob, se nachází v celém 1. nadzemním podlaží wellness vybavení nejrůznějšího charakteru. Mimo nutného zázemí pro personál i návštěvníky tohoto wellness centra jsou navrženy i tyto provozy:

- Tělocvična
- Bazén a vířivka
- Sauna
- Solná, finská a turecká pára
- Koupele
- Zábaly
- Kosmetika.

Všechny tyto relaxační terapie jsou velice problematickými provozy z hlediska dodržení stálého komfortu interního mikroklimatu, hlavně tepelně-vlhkostních podmínek v těchto prostředích. Vysoká obsazenost lidmi a samotný provoz zařízení pracující s vodou ve všech skupenstvích jsou interprety velkého množství teplotních zisků tepla citelného i vázaného. Převážně zde jsou zde rozhodující vodní zisky, které je třeba zohlednit při návrhu vzduchotechniky.

Z výše popsaných provozů byla vybrána část objektu, kde se nachází bazén o rozměrech 5 × 12 m a vířivka kruhového tvaru průměru 2 m. V celém centru je navrženo podlahové

vytápění. Tedy vodní zisky jsou hlavním faktorem pro návrh průtoku vzduchu pro větrání a odvlhčování vnitřního vzduchu. Určení přesné hodnoty hmotnostního toku vodní páry z volné hladiny bazénu, vířivky i smáčené podlahy je pomocí ručního výpočtu značně náročný a na danou úlohu poměrně nepřesný. Je vhodné pro tento případ použít software pro simulaci vnitřního proudění vzduchu v místnosti.

2. ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ DĚJE

Tato práce se zaměřuje na simulaci proudění vzduchu systému nuceného větrání s odvlhčováním v bazénové hale s ohledem na řešení odparu z volné vodní hladiny a smáčených konstrukcí. Z toho důvodu je třeba nastínit současný stav v oblasti teorie tvorby vnitřního mikroklima budov. V oblasti fyzikální teorie přenosu tepla a látky.

a. Proudění tepla a látek

Obecné proudění se současným přenosem tepla respektuje následující základní fyzikální zákony:

- Zákon zachování hmotnosti
- Zákon zachování hybnosti
- Zákon zachování energie

Proudění reálné tekutiny je obecně turbulentní, jestliže jeho proměnné vykazují chaotické fluktuace v prostoru a čase. Vzhledem k tomu, že se jedná o děje obecně trojrozměrné a časově závislé, jsou popsány soustavou parciálních diferenciálních rovnic řešitelných numerickými metodami. Jedná se o rovnici kontinuity a Navier-Stokesovy rovnice hybnosti.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot \vec{v}) = 0$$

ρ ... objemová hmotnost tekutiny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

t ... čas [s]

\vec{v} ... vektor rychlosti [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Rovnice 18 - Rovnice kontinuity

$$\frac{\partial(\rho \cdot \vec{v})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot \vec{v} \cdot \vec{v}) = -\nabla p + \nabla(\bar{\tau}) + \rho \cdot \vec{g} + \vec{F}$$

p ... statický tlak [Pa]

\vec{g} ... vektor gravitačního zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

\vec{F} ... vektor vnějších působících sil [N]

$\bar{\tau}$... napěťový tensor vzniklý v důsledku tření [Pa]

$$\bar{\tau} = \mu \cdot \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \cdot \nabla \cdot \vec{v} \cdot I \right]$$

μ ... dynamická viskozita [$Pa \cdot s$]

I ... jednotkový vektor [-]

Rovnice 19 - Navier-Stokesovy rovnice

Přenos tepla proudící tekutinou lze popsat zkráceně diferenciální rovnicí vyjadřující zákon zachování objemové hustoty tepelného výkonu se zohledněním vazké disipace.

$$\frac{\partial(\rho \cdot E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v} \cdot (\rho \cdot E + p)) = \nabla \cdot \left(\lambda_{eff} \cdot \nabla \cdot T - \sum_j h_j \cdot \vec{J}_j + (\bar{\tau}_{eff} \cdot \vec{v}) \right) + S_h$$

E ... měrná energie tekutiny [$J \cdot kg^{-1}$]

λ_{eff} ... součinitel efektivní tepelné vodivosti definované v souladu se zvoleným modelem

turbulence [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

h ... měrná entalpie tekutiny [$J \cdot kg^{-1}$]

\vec{J}_j ... difúzní tok veličiny j

$\bar{\tau}_{eff}$... tenzor efektivních vazkých napětí [Pa]

S_h ... objemová hustota vnitřního zdroje tepla [$W \cdot m^{-3}$]

Rovnice 20 - Zákon zachování objemové hustoty tepelného výkonu

Hustotu tekutiny je možné definovat různě. V této práci byla pro vzduch využita rovnice pro ideální nestlačitelný plyn. Popis turbulentního proudění vyžaduje navíc zohlednění přídatných poloempirických rovnic, které jsou nazývány modely turbulence. Při vlastním řešení metodou CFD byl používán model RNG k- ϵ . Tento dvourovnicový model určuje turbulentní viskozitu pomocí transportních rovnic pro k a ϵ . Model je založen na Boussinesqově hypotéze turbulentní viskozity μ_t . Tato hypotéza předpokládá, že podobně jako při laminárním proudění, kdy platí pro smykové napětí Newtonova závislost $\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy}$, kdy jsou turbulentní toky úměrné $\tau_t = \mu_t \cdot \frac{d\bar{u}}{dy}$ tentokrát však střední rychlosti \bar{u} , apod. Turbulentní viskozita je složitou funkcí stavu proudící tekutiny a je jen přibližně rovna součinu délkového a rychlostního měřítka charakterizující turbulenci. Turbulentní kinetická energie vztažená na jednotku hmotnosti k a disipační energie ϵ jsou s ní svázány vztahem:

$$\mu_t = \rho \cdot C_\mu \cdot \frac{k^2}{\epsilon}$$

ρ ... objemová hmotnost tekutiny [$kg \cdot m^{-3}$]

C_μ ... empirická konstanta turbulentního modelu 0,09 [-]

k ... turbulentní kinetická energie [$m^2 \cdot s^{-2}$]

ϵ ... rychlost disipace turbulentní kinetické energie [$m^2 \cdot s^{-3}$]

Rovnice 21 - Turbulentní viskozita μ_t

Turbulentní kinetická energie vztažená na jednotku hmotnosti k je definována vztahem:

$$k = \frac{1}{2} \cdot \bar{u}_i^2 = \frac{1}{2} \cdot (u_1'^2 + u_2'^2 + u_3'^2)$$

\bar{u} ... střední rychlost [$m \cdot s^{-1}$]

u' ... flukтуаční složka rychlosti [$m \cdot s^{-1}$]

Rovnice 22 - Turbulentní kinetická energie

$$\varepsilon = C_D \frac{k^{1,5}}{l}$$

l ... délkové měřítko turbulentního pohybu [m]

C_D ... empirická konstanta turbulentního modelu [-]

Rovnice 23 - Rychlost disipace turbulentní kinetické energie

RNG $k - \varepsilon$ model je odvozen z klasického $k - \varepsilon$ modelu při užití matematického postupu nazvaného metoda renormalizačních grup (RNG). Renormalizační procedura aplikovaná na turbulenci spočívá v postupné eliminaci malých vírů, přitom se přetransformují pohybové rovnice (Navier-Stokesovy rovnice) tak, že se modifikuje turbulentní viskozita, síly a nelineární členy. Pro pohyb nestlačitelné turbulentně se pohybující tekutiny platí následující rovnice:

$$\frac{\partial(\rho \cdot k)}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot k \cdot U) = \text{div} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \cdot \text{grad}(k) \right] + 2 \cdot \mu_t \cdot S_{i,j} - \rho \cdot \varepsilon$$

$$\frac{\partial(\rho \cdot \varepsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot \varepsilon \cdot U) = \text{div} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \cdot \text{grad}(\varepsilon) \right] + C_{1,\varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon}{k} \cdot 2 \cdot \mu_t \cdot S_{i,j} - C_{2,\varepsilon} \cdot \rho \cdot \frac{\varepsilon^2}{k}$$

U ... vektor rychlosti [$m \cdot s^{-1}$]

$S_{i,j}$... tenzor rychlosti deformace [Pa]

$\sigma_k, \sigma_\varepsilon, C_{1,\varepsilon}, C_{2,\varepsilon}$... empirické konstanty turbulentního modelu [-]

Rovnice 24 - Pohybové rovnice nestlačitelné a turbulentně pohybující se tekutiny

Kvalita výpočetní sítě při stěně má značný vliv na přesnost řešení celé úlohy. V oblasti mezní vrstvy jsou gradienty rychlostí výrazně větší než v ostatních částech řešeného

prostoru. Základním postupem výpočtu rychlostního pole u stěny je využití stěnové funkce (wall function)

b. Sdílení tepla konvekci

Konvekce představuje současné sdílení tepla vedením (kondukcí) a prouděním (advekcí) při přestupu z pevné látky na tekutinu. Podíly kondukce a advekce jsou na celkovém transportu tepla různé a záleží především na druhu proudění a termo-kinematických a hydrodynamických vlastnostech tekutiny. V technické praxi se problematika přenosu tepla řeší matematicko-experimentálním postupem využívající teorii geometrické a termo-mechanické podobnosti. Cílem je zjednodušení řešení přestupu tepla využitím Newtonova ochlazovacího zákona:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot S \cdot (t_w - t_l)$$

α ... lokální součinitel přestupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

S ... plocha [m^2]

t_w ... teplota stěny [$^{\circ}C$]

t_l ... teplota tekutiny [$^{\circ}C$]

Rovnice 25 - Newtonův ochlazovací zákon

Výpočet součinitele přestupu tepla vychází z teorie mezních vrstev a lze jej vyčíslit následovně:

$$\alpha = Nu \cdot \frac{\lambda_L}{l}$$

Nu ... Nusseltovo číslo [-]

λ_L ... součinitel tepelné vodivosti tekutiny [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

l ... charakteristický rozměr [m]

Rovnice 26 - Výpočet součinitele přestupu tepla α

Vliv způsobu proudění je charakterizován Reynoldsovým číslem Re , které specifikuje jednotlivé režimy proudění (laminární, přechodové a turbulentní). Vliv látkových vlastností na přestup tepla pak udává Prandtlovo číslo Pr , které vyjadřuje podobnost rychlostních a teplotních polí v proudu. Jestliže je tekutina zahřívána a její hustota se mění v závislosti na teplotě, může v důsledku rozdílu hustot a působení tíhového zrychlení dojít k proudění, které je označováno jako přirozená konvekce. Význam vztakových sil při smíšené konvekci lze určit pomocí poměru Grashofova Gr a Reynoldsova čísla Re . V případě přirozené konvekce je pak možné režim proudění určit pomocí tzv. Rayleighova čísla Ra . Dle charakteru přirozené konvekce je pak Nusseltovo číslo obecně definováno vztahem:

$$Nu = f(Gr, Pr, Re)$$

Rovnice 27 - Nusseltovo číslo

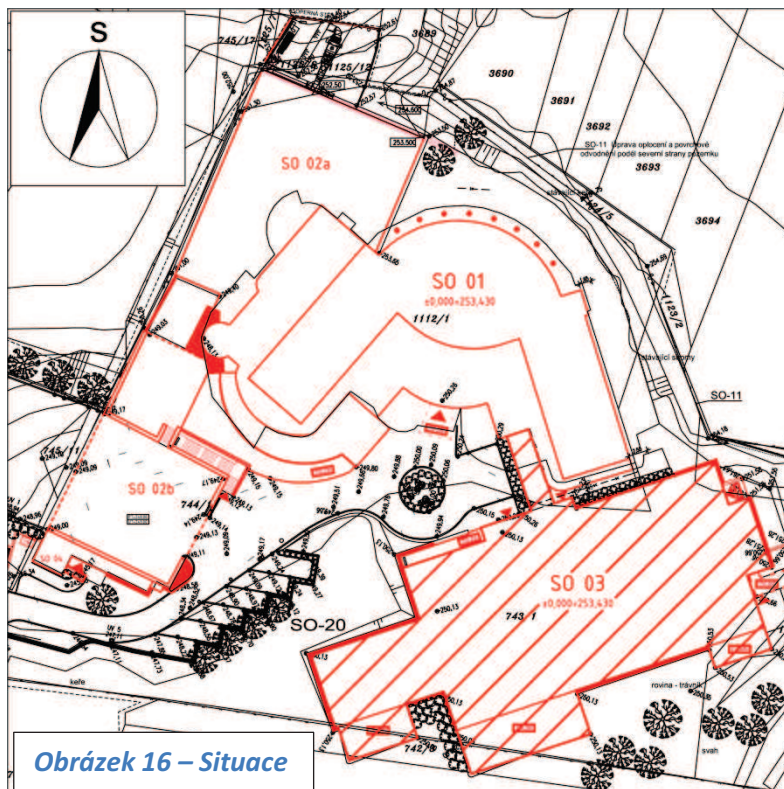
3. COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) SOFTWARE

Vhodným softwarem, který je schopen postihnout důležité problematické aspekty dané místnosti je profesionální komerční program FLUENT, který umožní řešit i komplikované geometrie a nastavit potřebné podmínky úlohy tak, aby se velmi přiblížily reálné simulaci a pracovním režimům, pro které je zkoumané zařízení projektováno. V každodenní praxi to znamená použít inženýrský přístup k zadání úlohy a řízení výpočtu. Inženýrským přístupem k řešení CFD úloh tedy chápeme souhrn úkonů, které zajistí v relativně snesitelném čase vyřešit s relativně snesitelným zjednodušením nebo omezením konkrétní technický úkol proudění a sdílení tepla.

4. ZADANÝ OBJEKT MAXIMUS RESORT

Zadaný objekt se nachází v Brně, městské části Bystrc a je primárně navržen jako ubytovací zařízení. Je jedním ze tří stavebních objektů mezi sebou propojených průchozími tunely a doposud je ve fázi výstavby. Soubor budov je osazen vzhledem ke světovým stranám dle Obrázek 16.

V objektu SO03, jež je zmíněná ubytovna se v přízemí nachází i wellness zařízení. Z celého 1.NP byla pro účely diplomové práce vybrána sportovní bazénová část pro plavce s relaxační částí vířivky. Tato místnost byla vybrána účelně kvůli vysokému pohybu osob a velkému množství vody v bazénu a vířivce. Zároveň je bazénová část v objektu umístěna tak, že pouze

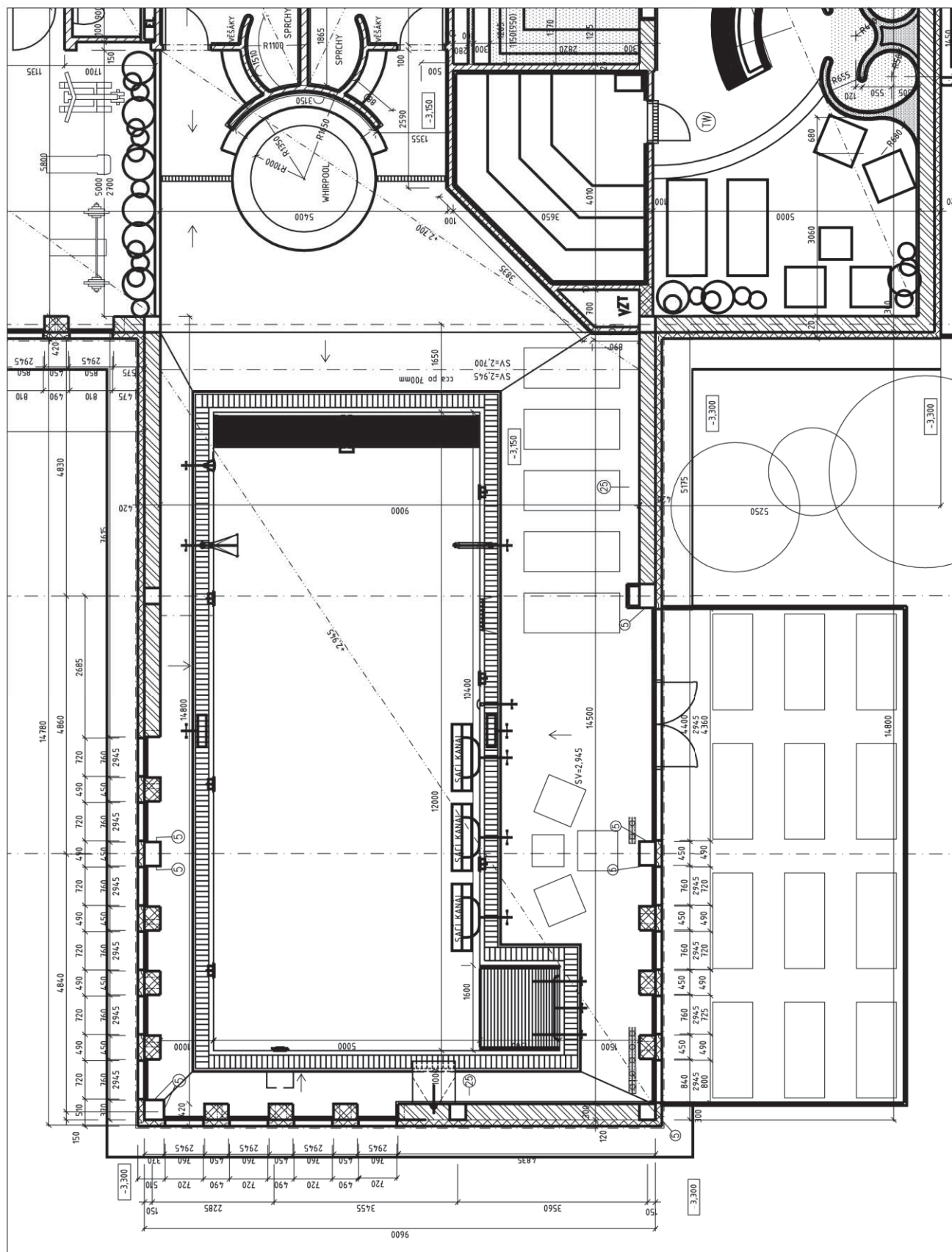


jednou stěnou sdílí teplo s další interiérovou částí wellness centra a zbylé stěny tvoří obvodové konstrukce s prosklenými částmi. Půdorys je znázorněn na následujícím Obrázek 17 - Půdorys bazénové haly.

5. CÍL

Úkolem simulačního řešení v CFD softwaru je optimalizování distribuce čerstvého vzduchu ve výše popsané místnosti. Tento cíl předpokládá konvergování numerického výpočtu (zmenšování residuí v každém kroku). Nejvhodnější varianta byla určena na základě těchto faktorů:

- Rovnoměrnost rozložení teploty vzduchu v místnosti
- Nízká rychlost proudění ve zvolených referenčních rovinách (RR)
 - 1. RR – stojící osoba - 1,70 m nad úrovní podlahy
 - 2. RR – osoby na lehátku – 0,60 m nad úrovní podlahy
- Nízký index PPD (předpokládané procento nespokojených) v zónách 1 a 2



Obrázek 17 - Půdorys bazénové haly

6. TVORBA GEOMETRIE A VÝPOČETNÍ SÍTĚ

GAMBIT je prostředí, které spojuje tvorbu geometrie se síťováním, definováním oblastí proudění, pevných vodivých oblastí a okrajových oblastí výpočetní sítě (dvourozměrná oblast – obecné křivky, trojrozměrná oblast – obecné plochy), Obrázek 18. Kromě tvorby geometrie pomocí ucelených a výkonných nástrojů pro modelování geometrie GAMBIT může jednoduše importovat geometrii z jakéhokoli CAD software v různých formátech. Importovaná geometrie může být následně upravována dle požadavku řešitele např. pomocí booleovských operací nebo odstraněním přebytečných entit tzv. „vyčištění“ geometrie.



Obrázek 18 - Stručná charakteristika programu Gambit

GAMBIT nabízí celou řadu nástrojů pro síťování od automatizovaného až po možnost uživatelský síťovat jednotlivé entity různými prvky. V trojrozměrných úlohách je výhodné používat síť převážně složenou ze šestistěnů. Dále je možné např. využít nástrojů pro plošné a prostorové zahušťování sítí v kritických oblastech.

a. Geometrie bazénové haly

V tomto softwaru byla vytvořena geometrie bazénové haly postupnou metodou tvorby bodů, jejichž spojením byly vytvořeny úsečky, z nich jednotlivé plochy ohraničující prostor, které byly spojeny v jeden objem. Byly vytvořeny 3 různé alternativy distribuce

vzduchu, přičemž množství přírodního vzduchu bylo určeno dle německé normy VDI 2089 (starší vydání):

VSTUPNÍ HODNOTY:

$$t_e = 29\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_i = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\varphi_e = 41\text{ }\%$$

$$\varphi_i = 60\text{ }\%$$

$$x_e = 8,2\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$x_i = 14,7\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\rho_e = 1,12\text{ kg}^{-1} \cdot \text{m}^3$$

	BAZÉN	VÍŘIVKA	SMÁČENÁ PODLAHA
Empirický součinitel $\varepsilon [\text{g} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$	$7,8 \cdot 10^{-5}$	$9,7 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Plocha $S_h [\text{m}^2]$	60,0	3,315	80,0
Parciální tlak syté vodní páry při teplotě vody $p''_{w(t_w)} [\text{Pa}]$	3781	5622	3781
Parciální tlak vodní páry $p_{v(t_i)} [\text{Pa}]$	2265	2265	2265

VÝPOČET PRŮTOKU ČERSTVÉHO VZDUCHU PRO ODVLHČENÍ:

$$m_{wo} = \varepsilon \cdot S_h \cdot (p''_{w(t_w)} - p_{v(t_i)})$$

$$m_{wo} = 7,8 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 12 \cdot (3781 - 2265) + 9,7 \cdot 10^{-5} \cdot \pi \cdot 1^2 \cdot (5622 - 2265) \\ + 2,0 \cdot 10^{-5} \cdot 80,0 \cdot (3781 - 2265) = 70,955 + 10,795 + 24,256 = 106006 \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$V = \frac{m_{wo}}{(x_i - x_e) \cdot \rho_e} = \frac{106006}{(14,7 - 8,2) \cdot 1,12} \doteq 15000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

PŘÍVODNÍ ELEMENTY:

$$V = 15000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 4,167 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

- Rychlost proudění z vyústky:

$$v = 2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- Plocha přívodních prvků:

$$S = \frac{4,167}{2,0} = 2,1 \text{ m}^2$$

- Přívod pod prosklenými částmi: štěrbinové vyústky šířky $b = 0,1 \text{ m}$ - 50% · V
 $14 \times L = 0,5 \text{ m}$
 $1 \times L = 4,0 \text{ m}$
- 2 přívodní obdélníkové vyústky o rozměru $1 \times 0,5 \text{ m}$ - 50% · V
 $0,5 \cdot 14 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,5 \cdot 1,0 = 1,1 + 0,5 + 0,5 = 2,1 \text{ m}^2$

ODVODNÍ ELEMENTY:

$$V_o = 4,167 \cdot 0,8 = 3,333 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

- Rychlost proudění z vyústky

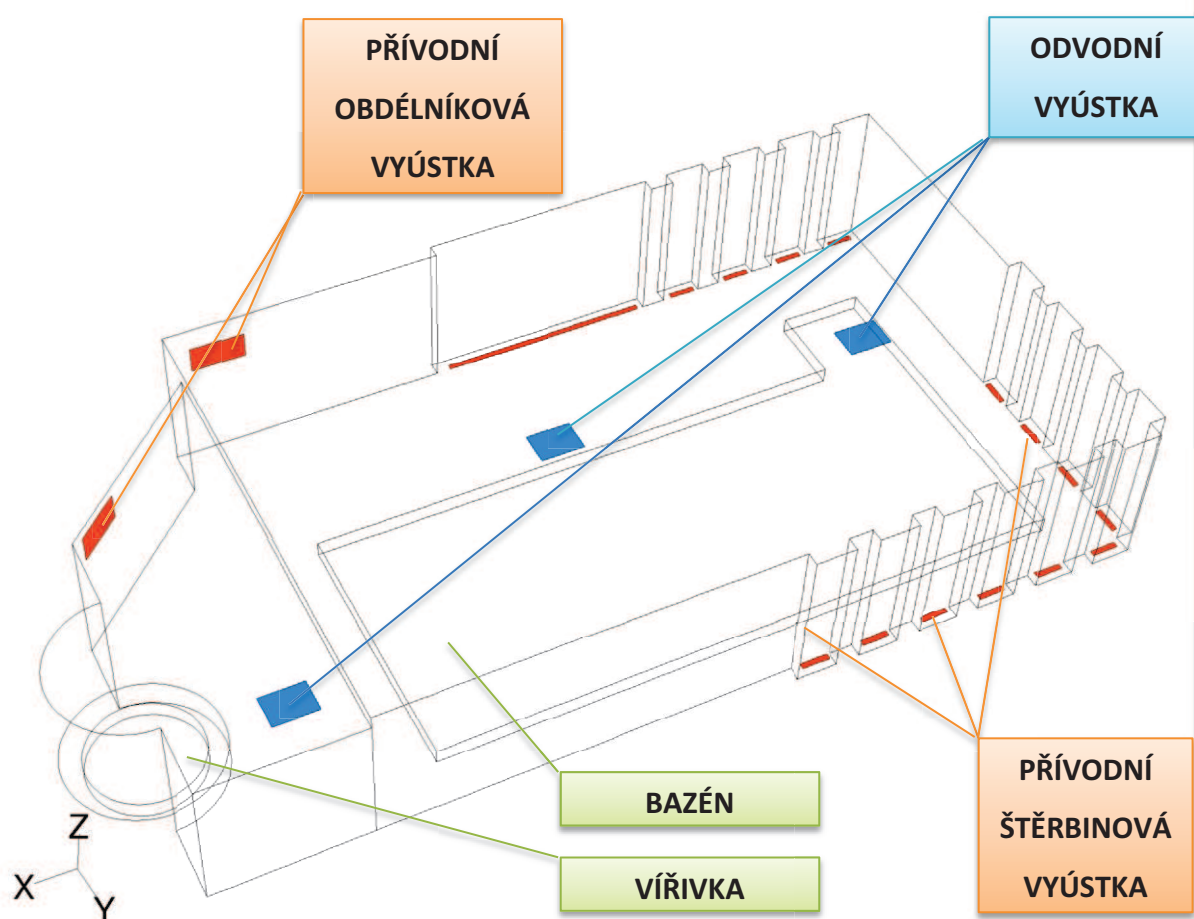
$$v = 2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$S_o = \frac{3,333}{2,5} = 1,333 \text{ m}^2$$

- 3 odvodní obdélníkové vyústky o rozměru $0,8 \times 0,6 \text{ m}$
 $3 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = 1,44 \text{ m}^2$

Jako první varianta byla zvolena distribuce dle Obrázek 19, tedy přívod čerstvého vzduchu štěrbinovou vyústí o rozměru $0,1 \times 0,5$ m pod prosklenými částmi obvodové konstrukce, dále přívod dvěma obdélníkovými vyústkami $1,0 \times 0,5$ m ve výšce spodní hrany $2,25$ m nad úrovní podlahy z jižní strany a jihovýchodní v prostoru vířivky.

Odvod odpadního vzduchu je myšlen třemi obdélníkovými vyústkami o rozměrech $0,8 \times 0,6$ m osazenými pod stropem, z nichž se dvě nachází nad bazénovou vodní plochou a jedna v blízkosti vířivky.



Obrázek 19 - Alternativa I. - geometrie

b. Tvorba výpočetní sítě a objemových prvků

Rozdělení celého objemu místnosti na malé objemové prvky bylo dosaženo také v programu GAMBIT, panelu MESH a tvorbu přímo objemové sítě. Díky složitější konstrukci

byla většina objemu vytvořena elementy Tet/Hybrid typu TGrid o maximální velikosti hrany 0,2 m. Prostor nad vířivkou byl síťován pomocí elementů Hex/Wedge typu Cooper a nad volnou vodní plochou bazénu i vířivky byl vytvořen samostatný objem výšky 0,3 m, který byl rozdělen síťovými prvky Hex typu Map o velikosti hrany max. 0,1 m.

c. Okrajové podmínky

Panel okrajových podmínek definuje dva základní typy podmínek pro specifikaci k následné numerické simulaci ve FLUENTU, tedy specifikaci odpovídajících veličin na hraničních oblastech výpočtové sítě a specifikace oblasti proudění tekutin a vedení v pevných materiálech.

Byly tedy nastaveny v softwaru Gambit následovně:

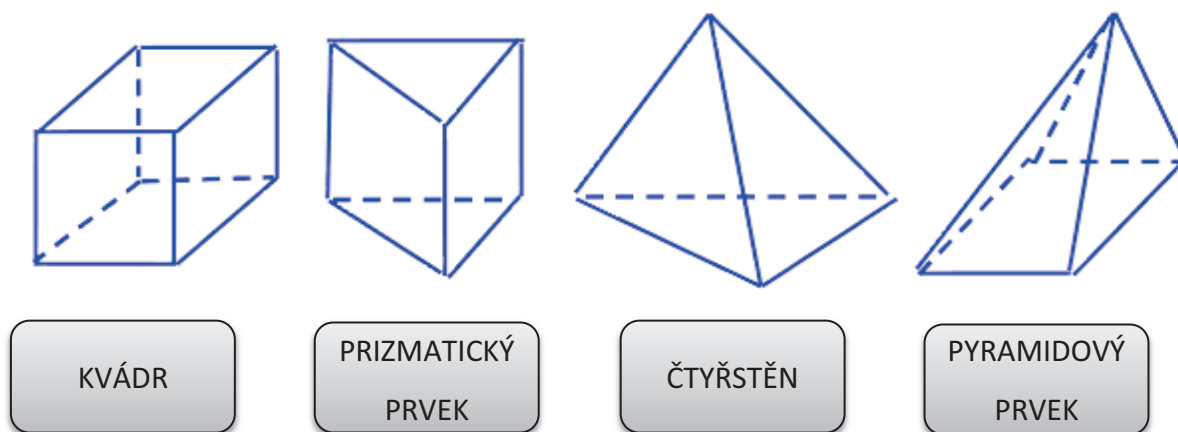
Přívodní vyústky	-	MASS_FLOW_INLET
Odvodní vyústky	-	OUTFLOW
Ostatní plochy vč. vodních ploch	-	WALL
Veškerý vnitřní vzduchu	-	FLUID

d. Export výpočtové sítě

Po ukončení všech úkonů v programu GAMBIT byl exportován soubor obsahující veškeré informace sloužící jako podklad pro numerickou simulaci v softwaru FLUENT.

7. NUMERICKÁ SIMULACE

Numerická metoda konečných objemů je založena na vytvoření systému nepřekrývajících se elementů, konečných objemů. Původně byla metoda konečných objemů postavena na konečných objemech tvaru obdélníků a křivočarých čtyřúhelníků ve dvourozměrném případě a kvádrů nebo obecných šestistěnů v trojrozměrných úlohách (Obrázek 20). Takto vytvořená síť se nazývá *strukturovaná síť*. Zásadním pravidlem je, že hranice prvků musí sousedit s jedinou hranicí sousedního elementu, nelze tedy libovolně zhušťovat síť (je analogií pro metodu konečných diferencí včetně možnosti použití indexování). Také výsledná výpočtová oblast je pak kvádr nebo obdélník. V současné době se začíná prosazovat nový přístup, kdy se buduje tzv. *nestrukturovaná síť*. Konečným objemem je ve 3D kvádr, čtyřstěn, prizmatický a pyramidový prvek, jehož výhody byly ověřeny v úlohách pružnosti, řešených metodou konečných prvků.

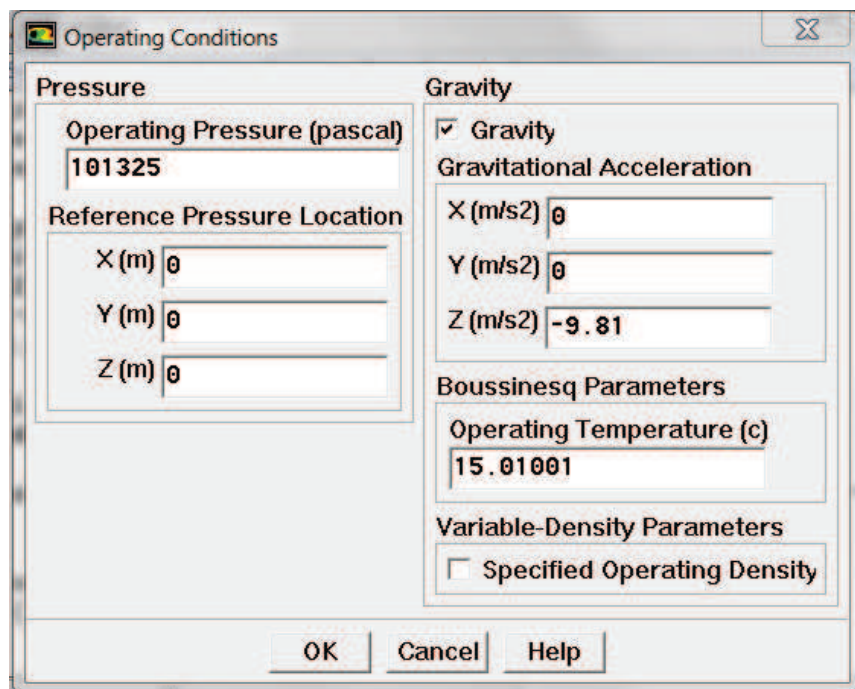


Obrázek 20 - Tvary konečného objemu

Výše vyjmenované prvky se v současné době mohou kombinovat, čímž se získá optimální síť, kde v okolí stěny jsou použity čtyřúhelníky a kvádry (pro výpočet z hlediska přesnosti jsou optimální) a v dalších oblastech, kde nedochází z důvodu existence mezní vrstvy k velkým gradientům řešených veličin, se použijí zbývající prvky.

a. Základní nastavení v programu FLUENT

Po načtení sítě z programu GAMBIT, bylo třeba nastavit základní parametry řešiče, tedy že se jedná o 3D osově nesymetrickou úlohu v časově ustáleném stavu. V dalším kroku



definujeme typ matematického modelu proudění. V tomto případě RNG $k - \varepsilon$ model. Následně byla definována proudící tekutina ve vnitřním prostoru: vzduch (air) a také definován operační tlak a gravitační zrychlení.

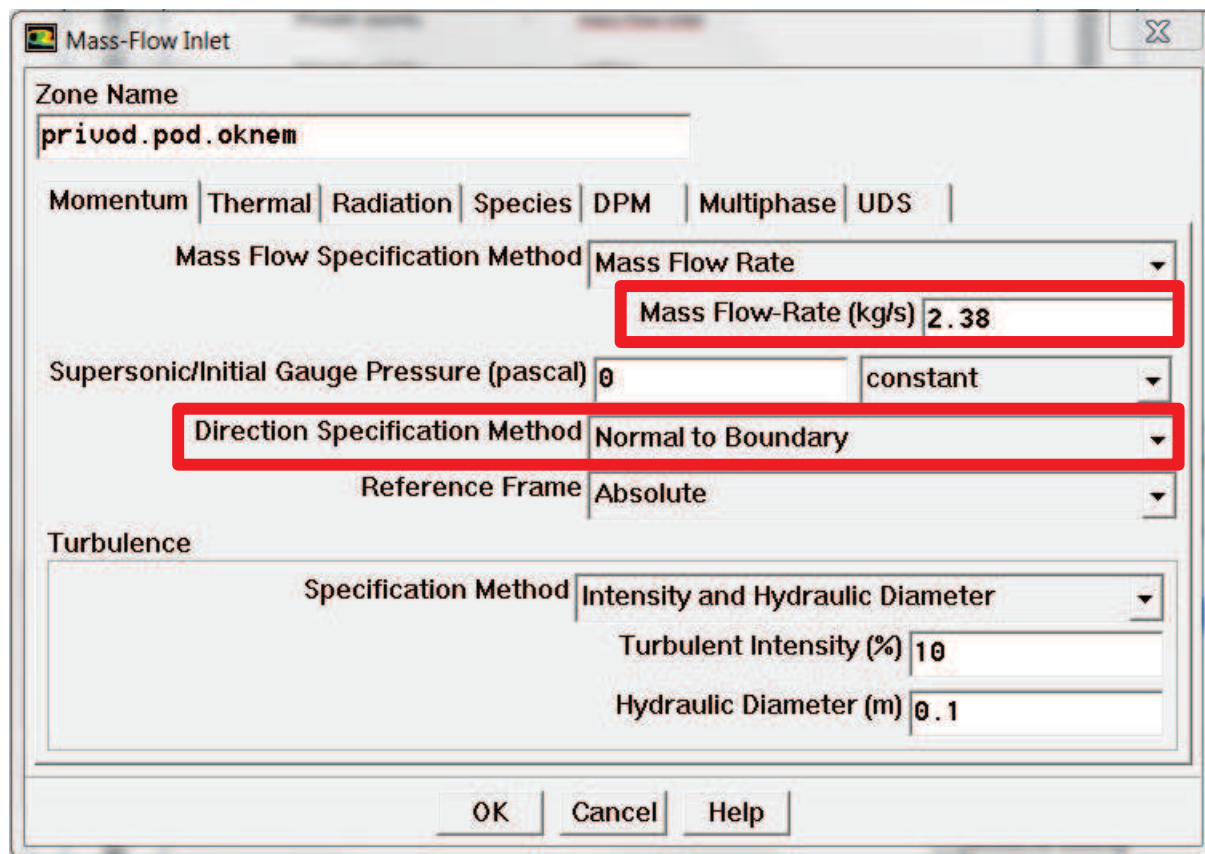
Obrázek 21 - FLUENT - definice operačního tlaku a gravitačního zrychlení

b. Okrajové podmínky

Pro numerickou simulaci bylo zapotřebí definování vstupních okrajových podmínek na jednotlivých hranicích oblasti a v oblasti proudění. Hraniční oblasti byly definovány následovně:

Přívodní výústky	-	mass-flow-inlet
Odvodní výústky	-	outflow
Ostatní konstrukce	-	wall

I. Přívodní vyústky



Obrázek 22 - FLUENT - definice okrajové podmínky přívodního vzduchu – směr a množství

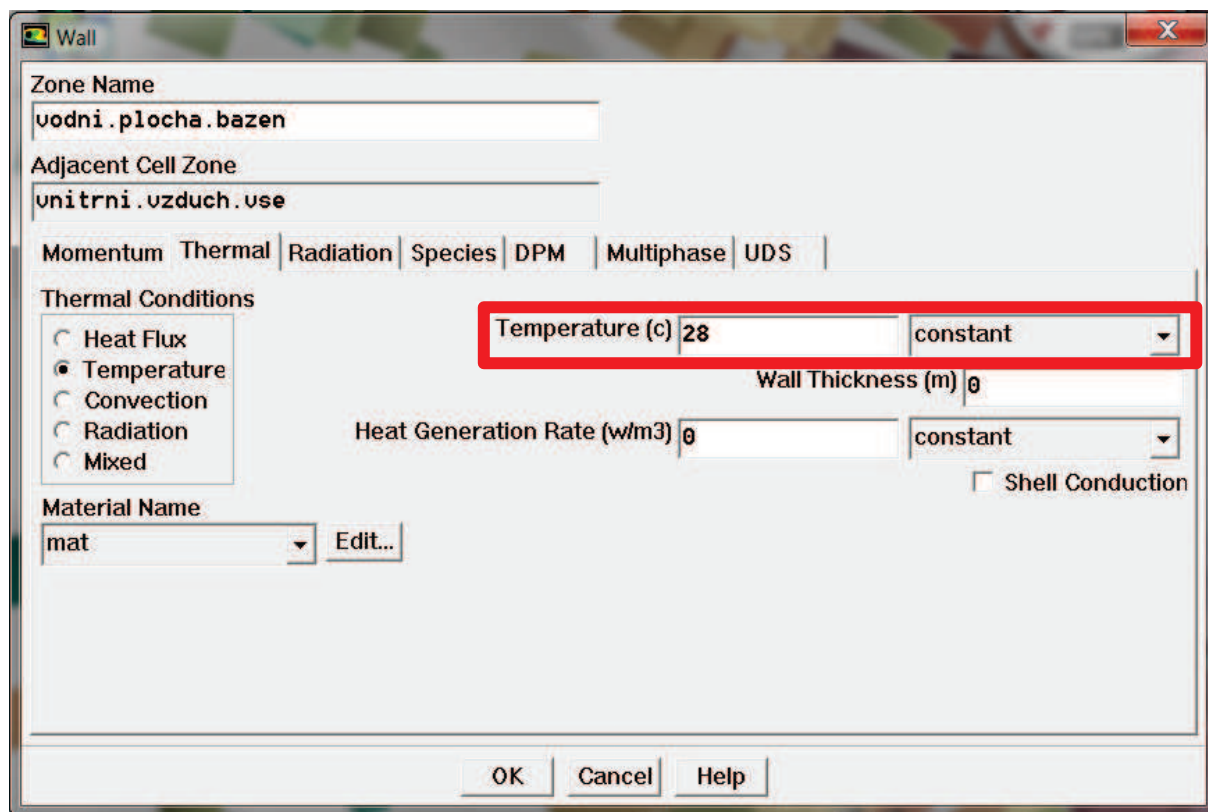
- V podsložce THERMAL byla nastavena přívodní teplota na 30 °C
- V podsložce Species nastavena měrná vlhkost $0,001 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$

II. Vodní plochy a smáčená podlaha

- V podsložce THERMAL nastavení teploty povrchu
- V podsložce SPECIES nastavení měrné vlhkosti

	Vodní plocha bazénu	Vodní plocha vířivky	Smáčená podlaha
Teplota	28 °C	32 °C	28°C
Vlhkost	$28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.v.}$	$32 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.v.}$	$28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.v.}$

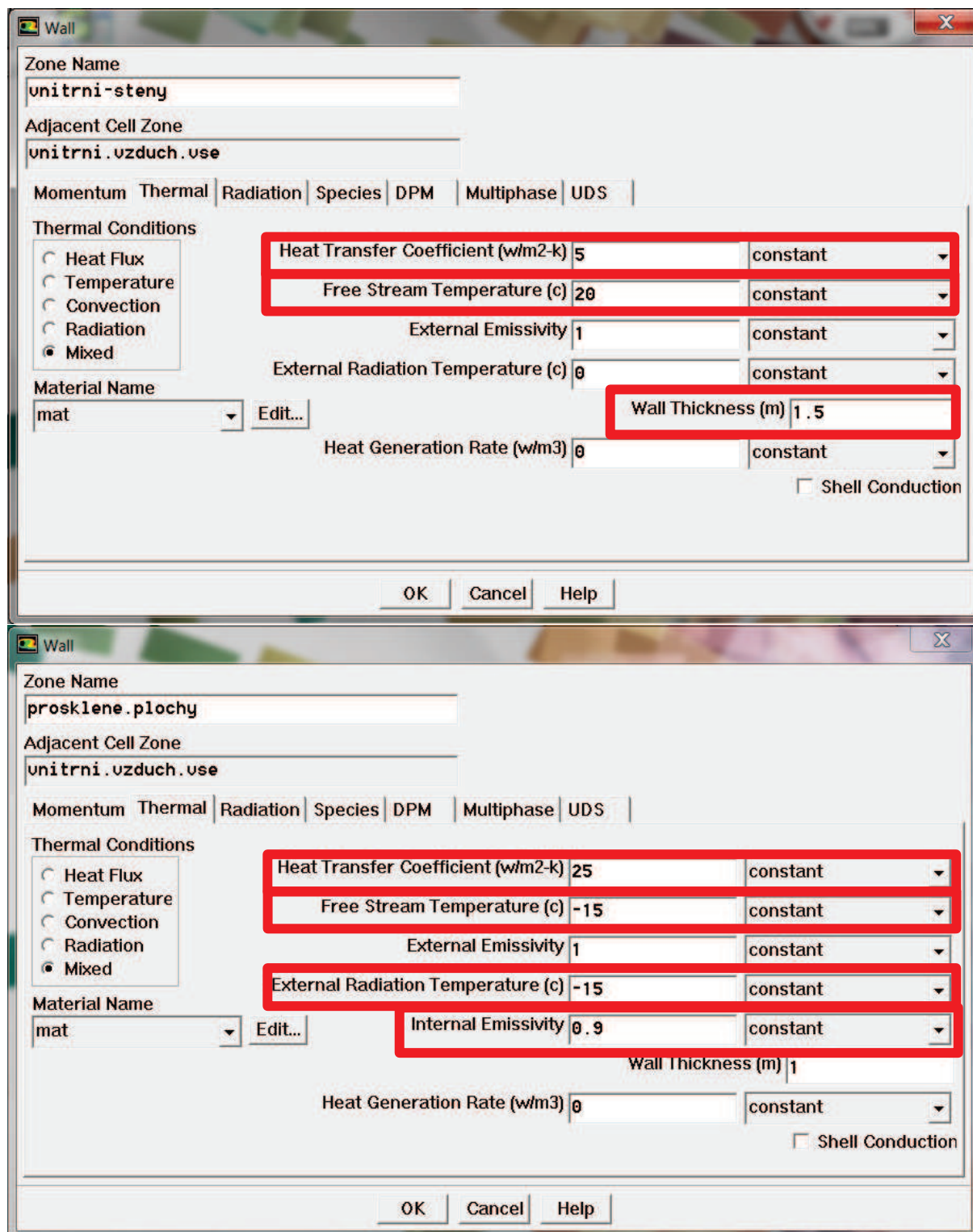
Tabulka 7 - FLUENT - definice okrajové podmínky vodní plochy – teplota a měrná vlhkost



Obrázek 23 - FLUENT - definice okrajové podmínky vodní plochy bazénu – teplota

III. Ohraničující konstrukce

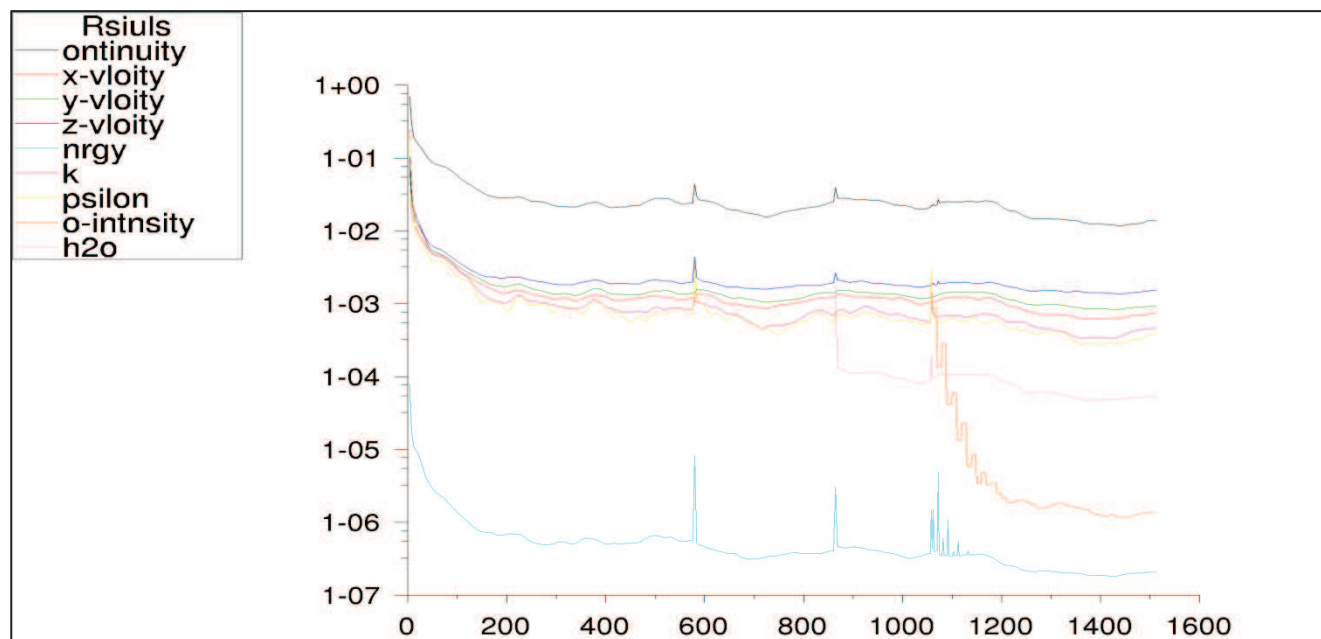
Těmito konstrukcemi jsou myšleny veškeré stavební konstrukce, stěny, strop a prosklené konstrukce. U těchto hraničních ploch byla nastavována hodnota součinitele přestupu tepla, teplota vyskytující se v prostředí za onou konstrukcí a součinitel prostupu tepla (přesněji fiktivní tloušťka stěny při součiniteli tepelné vodivosti $\lambda = 1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ a požadovaném součiniteli prostupu tepla U). Viz Obrázek 24.



Obrázek 24 - FLUENT - definice okrajové podmínky ohraničujících konstrukcí

c. Výpočet

Před samotným spuštěním výpočtu bylo nastaveno kritérium konvergence, tedy velikosti residuí jednotlivých veličin, jejichž průběh během výpočtu na obrázku (Obrázek 25).



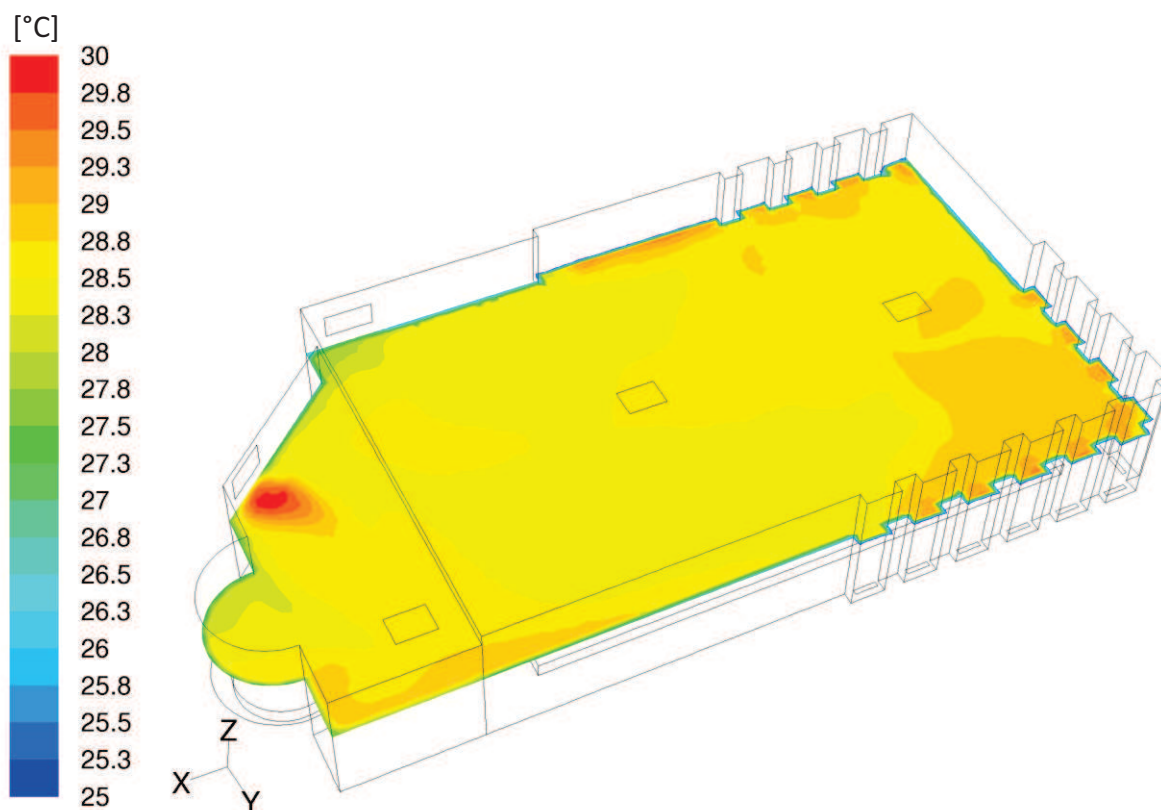
Obrázek 25 - FLUENT - průběh residuí jednotlivých veličin

d. Post Processing

Po výpočtu byly exportovány obrazy proudění a trajektorie proudnic. Obrazy proudění prezentují veličinu ve dvou zvolených rovinách. První rovina je v pobytové zóně (1,60 m nad úrovní podlahy) a druhá zobrazuje průběh těsně nad hladinou bazénu, z níž lze následně exportovat i přesné hodnoty potřebné veličiny do Excelu a dále s nimi pracovat.

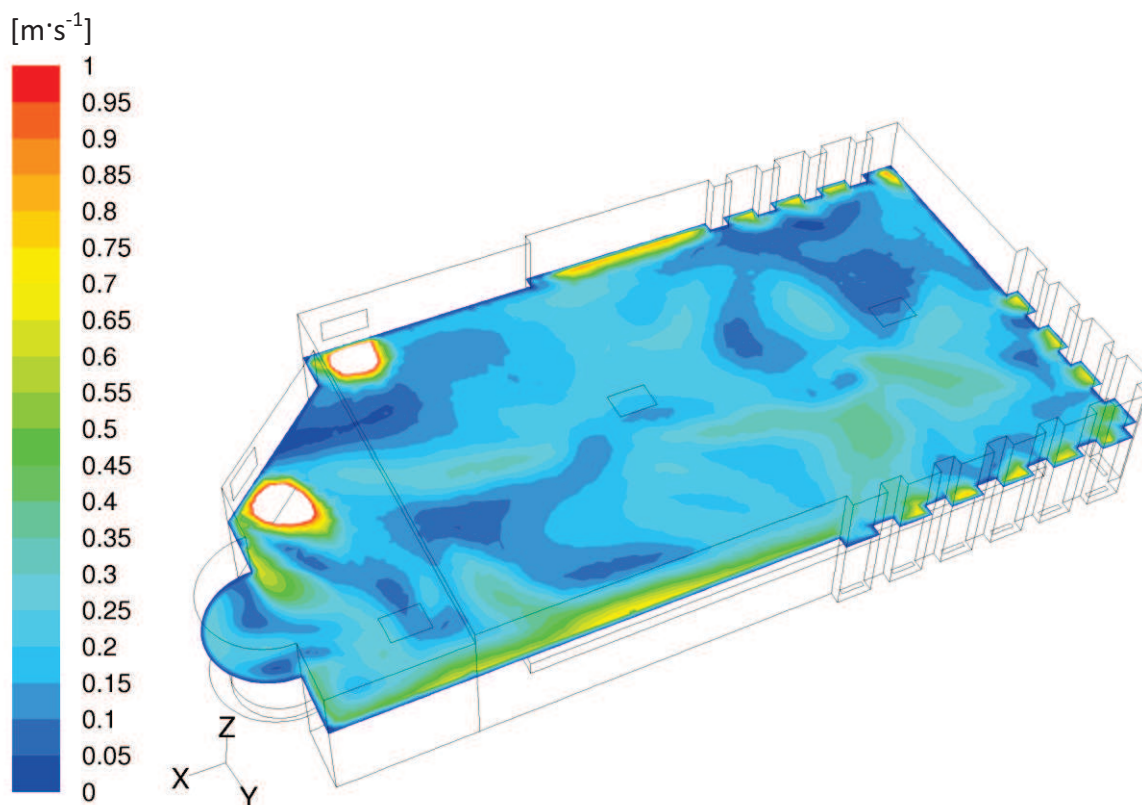
1. Alternativa

Na Obrázek 26 je znázorněn průběh teplot v pobytové zóně. Je z něj patrné, že teplota je poměrně v celé ploše vyrovnaná a pohybuje se kolem $28\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. Výjimkou jsou místa ofukovaných skleněných tabulí a také v blízkosti přírodní vyústky na šikmé stěně u vířivky, kde vzduch dosahuje teploty 30 °C .

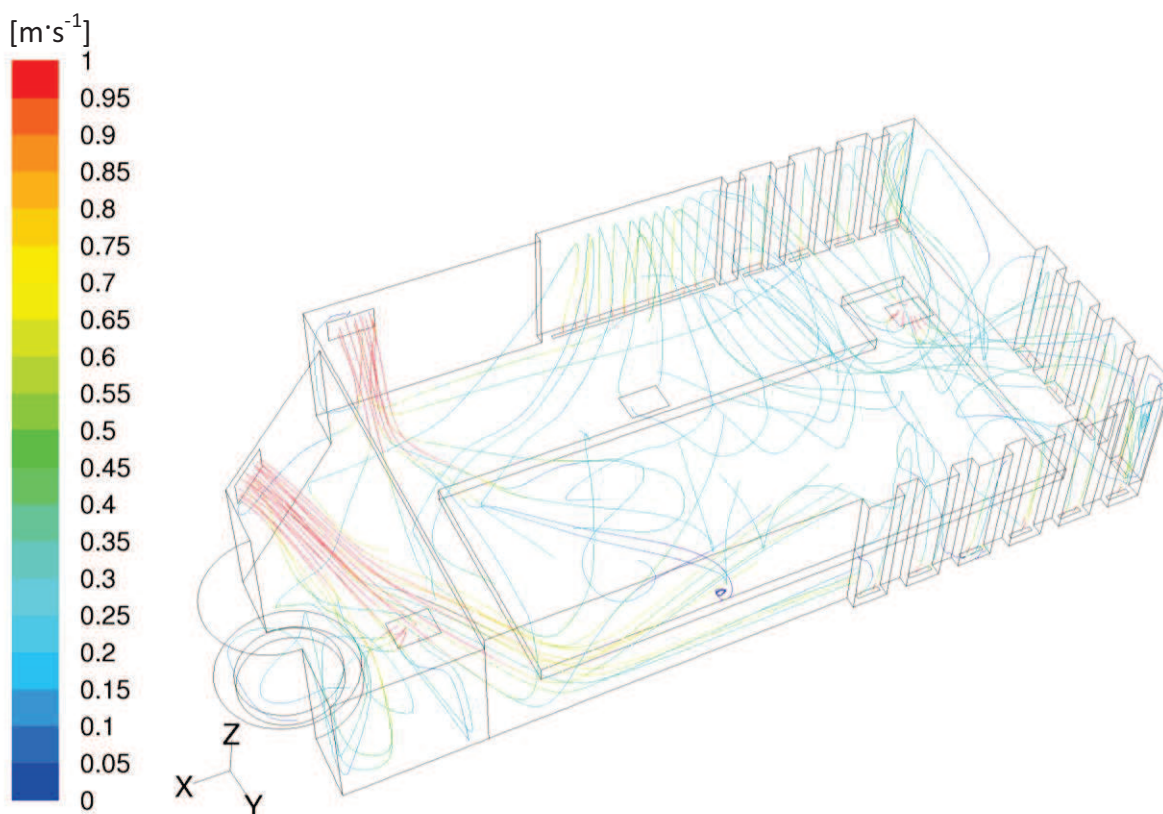


Obrázek 26 - Alternativa I. - obraz průběhu teplot v pobytové zóně

Z hlediska rozložení teplot v prostoru bazénové haly se jeví I. varianta jako použitelná verze distribuce vzduchu. Ovšem při zobrazení rychlostního pole v této výšce (Obrázek 27) je možno pozorovat, že je nevhodné užívat velké obdélníkové vyústky, z nichž proudí vzduch vysokou rychlostí a to i z důvodu, že je pod těmito přívodními elementy v typologickém návrhu uvažováno umístění lehátek. Navíc je to hlavní komunikační prostor k zadním schůdkům sloužícím pro vstup do bazénu.



Obrázek 27 - Alternativa I. - obraz průběhu rychlosti v pobytové zóně



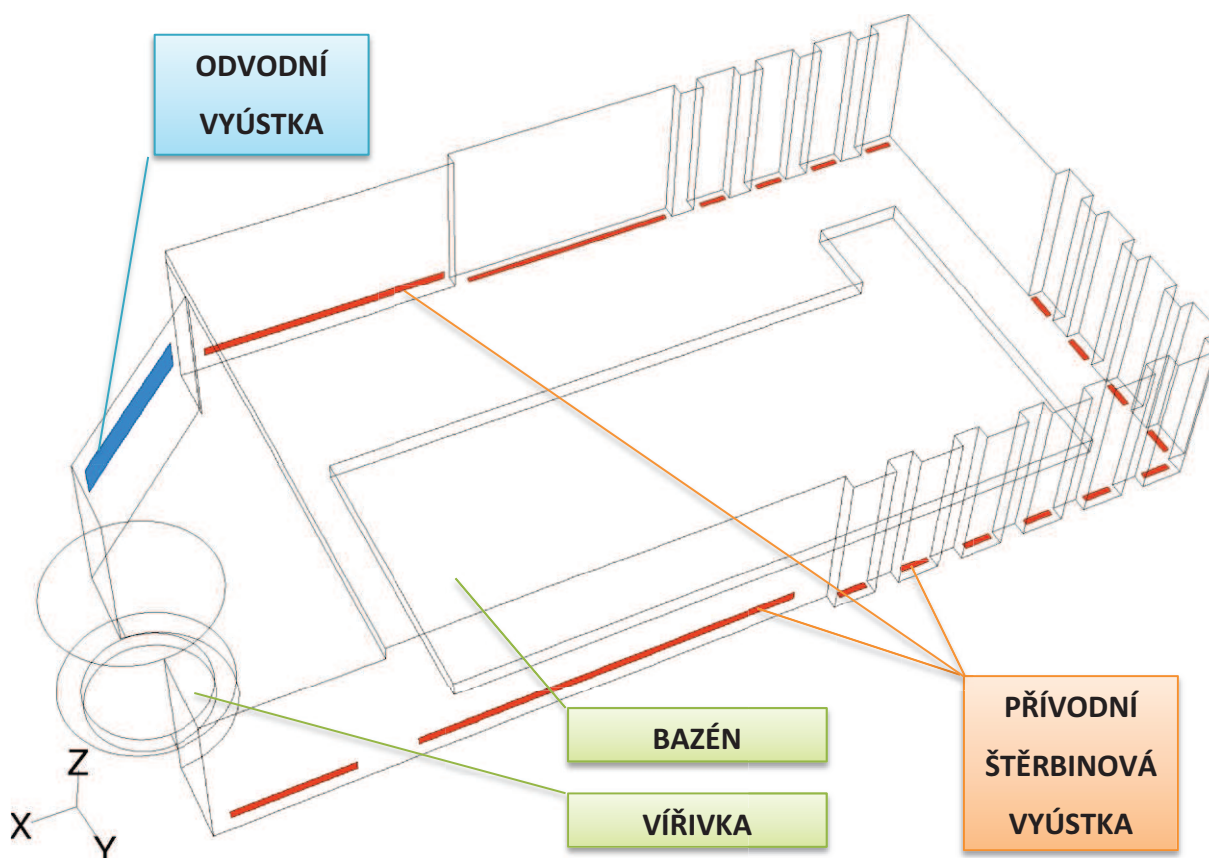
Obrázek 28 - Alternativa I. - obraz trajektorií rychlostních proudnic

Na Obrázek 28, který znázorňuje trajektorie proudnic charakterizujících rychlost v průběhu dráhy, je ověřeno, že přívodní vyústky by nepříjemně působily na osoby pohybující se v prostoru v jejich blízkosti. Právě pro nevyhovující rychlostní průběh v pobytové zóně byla zvolena II. alternativa distribuce vzduchu.

II. Alternativa „ZDOLA NAHORU“

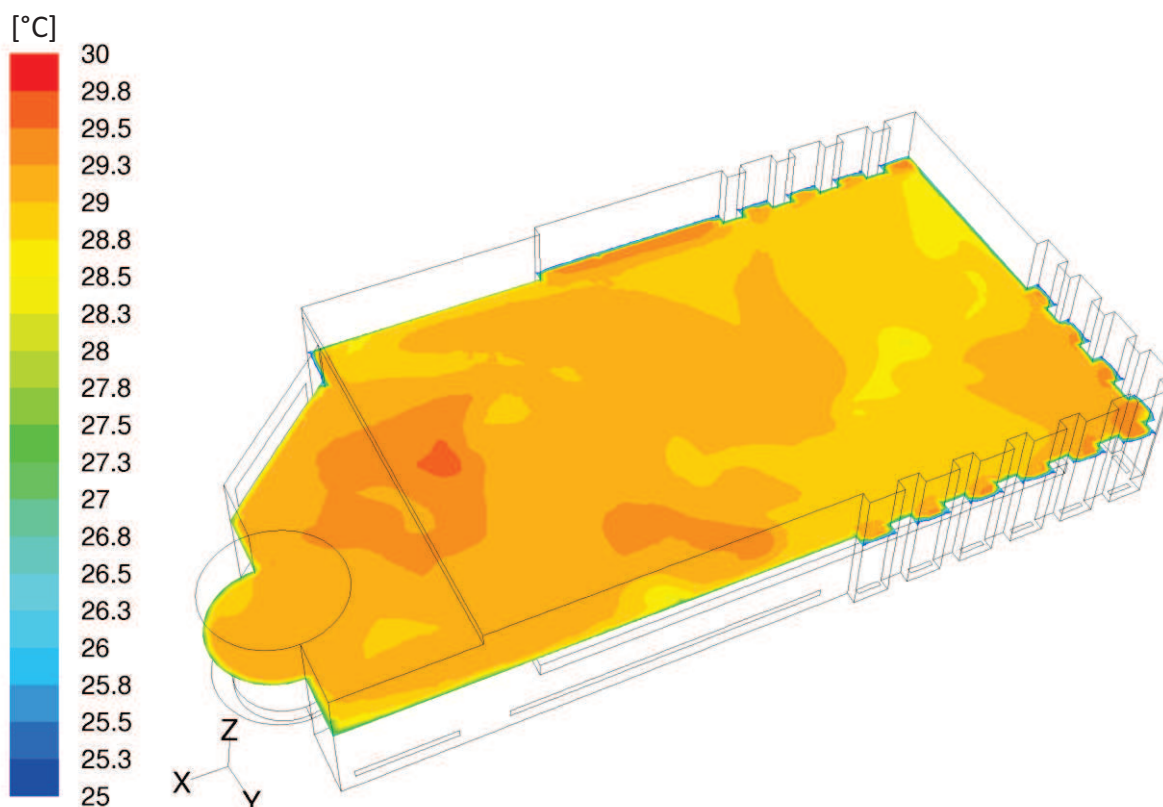
Druhou alternativou je distribuce obdobná variantě první. Změna oproti předchozí variantě je výměna přívodních velkoplošných vyústek $1,0 \times 0,5$ m za štěrbinové stejné plochy osazené 0,3 m nad podlahou bazénové haly. Tato varianta lze brát jako varianta „zdola-nahoru“, jelikož odvodní vyústka je v této alternativě navržena pouze jedna centrální v místě vířivky o rozměru $2,9 \times 0,5$ m osazená 2,25m nad podlahou.

Názorněji vystihuje geometrii II. alternativy Obrázek 29.



Obrázek 29 - Alternativa II. – geometrie

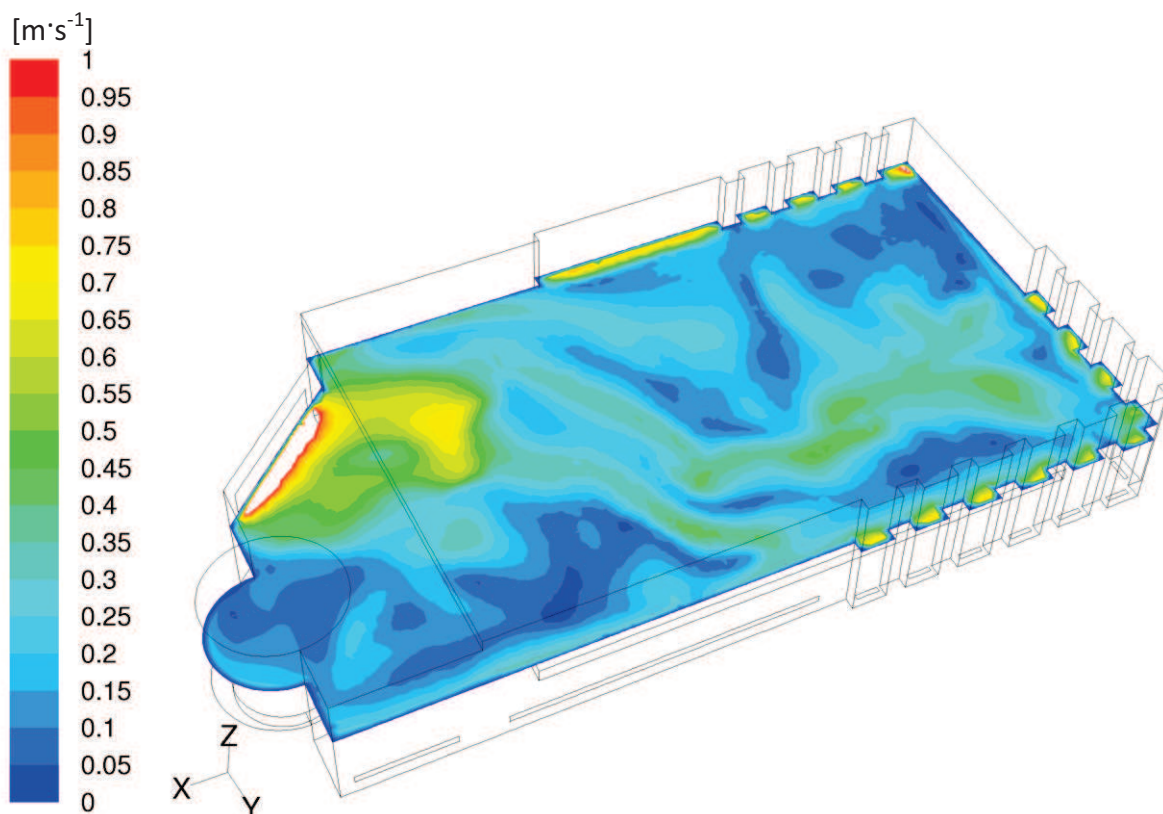
Znovu proběhly jednotlivé kroky postupu simulace, které byly popsány v předchozí variantě. Po ukončení iteračního výpočtu byly exportovány rychlostní a teplotní průběhy v referenční ploše 1,6 m nad podlahou.



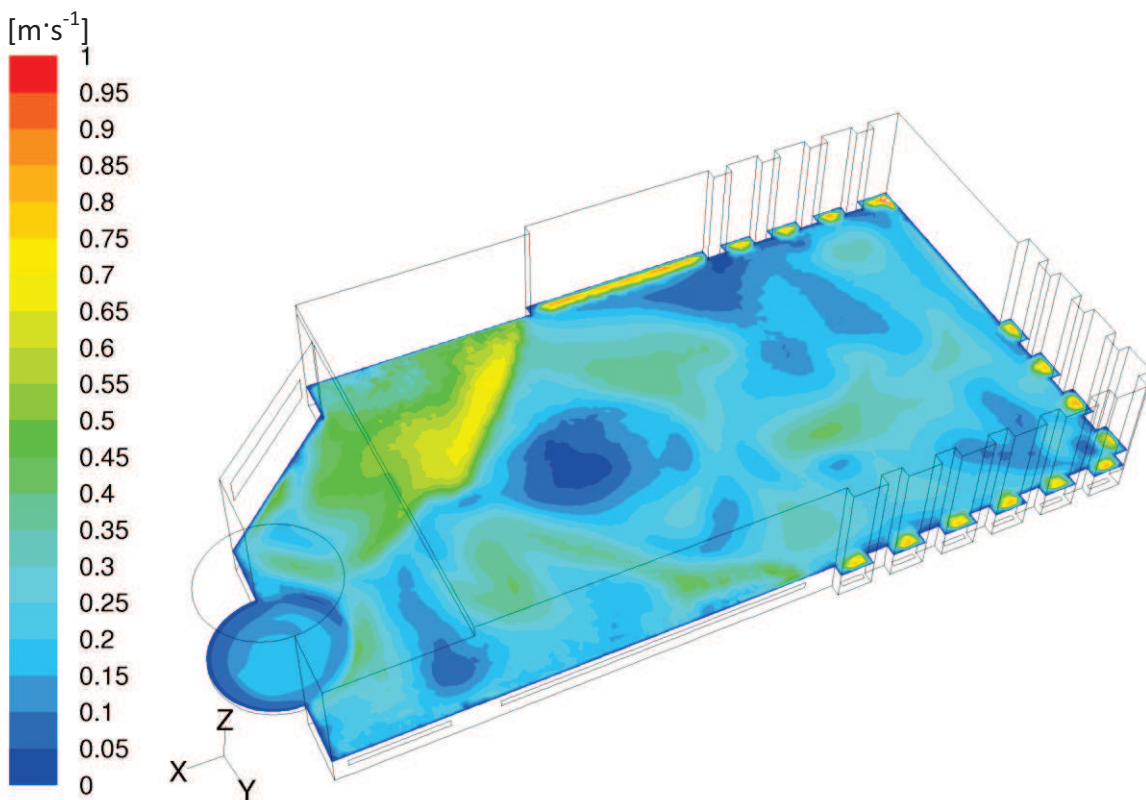
Obrázek 30 - Alternativa II. - obraz průběhu teplot v pobytové zóně

Rozložení teplot (Obrázek 30) opět rozloženo velmi rovnoměrně, dokonce ve srovnání s variantou I. ještě mnohem rovnoměrněji a teplota se opět pohybuje okolo teploty $29\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.

Obraz průběhu rychlosti (Obrázek 31) je oproti první verzi mnohem vyrovnanější po celé referenční ploše ve výšce 1,6 m. Vyrovnanějšího rychlostního profilu bylo dosaženo postupným samovolným stoupáním teplejšího vzduchu a tedy rovnoměrnému rozložení rychlosti i teplot. Pro vyloučení rizika obtěžování osob relaxujících na lehátkách v blízkosti přírodních vyústek, byl exportován rozložení rychlosti ve výšce 0,6 m nad podlahou (Obrázek 32) a je vidět, že je štěrbinou vytvořen pás o průměrné rychlosti $0,65\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



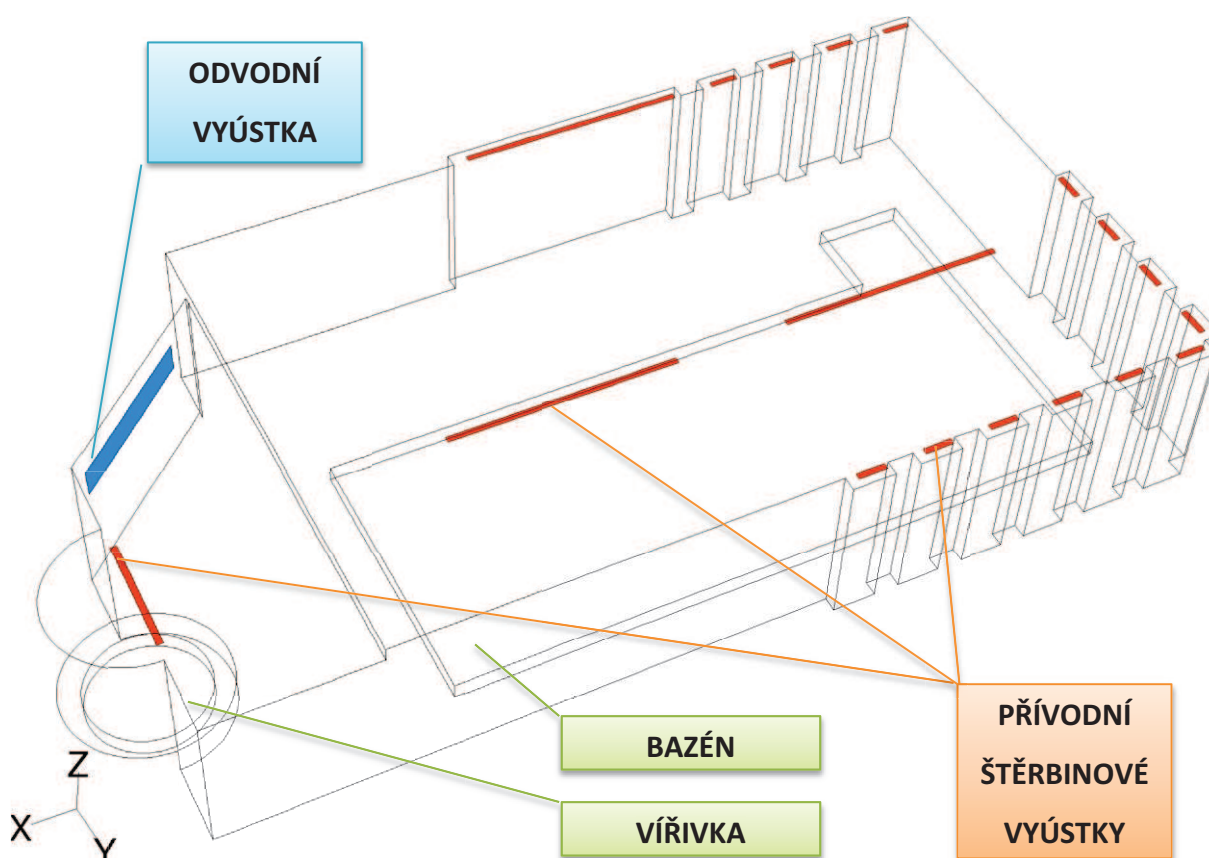
Obrázek 31 - Alternativa II. - obraz průběhu rychlosti v pobytové zóně



Obrázek 32 - Alternativa II. - obraz průběhu rychlosti ve výšce 0,6m

III. Alternativa „SHORA NAHORU“

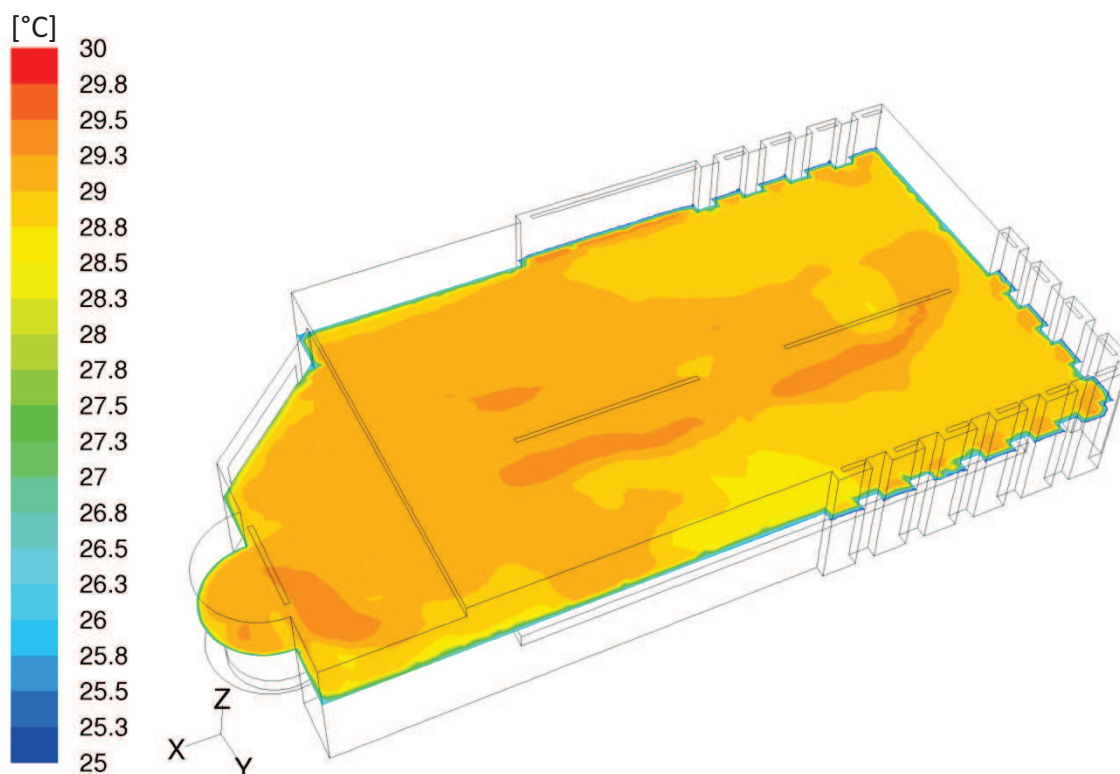
Třetí a současně poslední verzí je systém distribuce „shora-nahoru“. Přívodní i odvodní výústky jsou navrženy pod stropem stejných ploch jako minulé dvě varianty a to hlavně z důvodu omezení vyšších rychlostí v pobytové (1,6 m) i relaxační (0,6 m) zóně. Umístění přívodních štěrbinových výústek respektuje pravidlo osazení buď nad vodní plochou, nebo nad prosklenou částí obvodové konstrukce (pro zamezení kondenzace vodní páry). Odvod vzduchu zůstal oproti variantě II. beze změny. Blíže Obrázek 33.



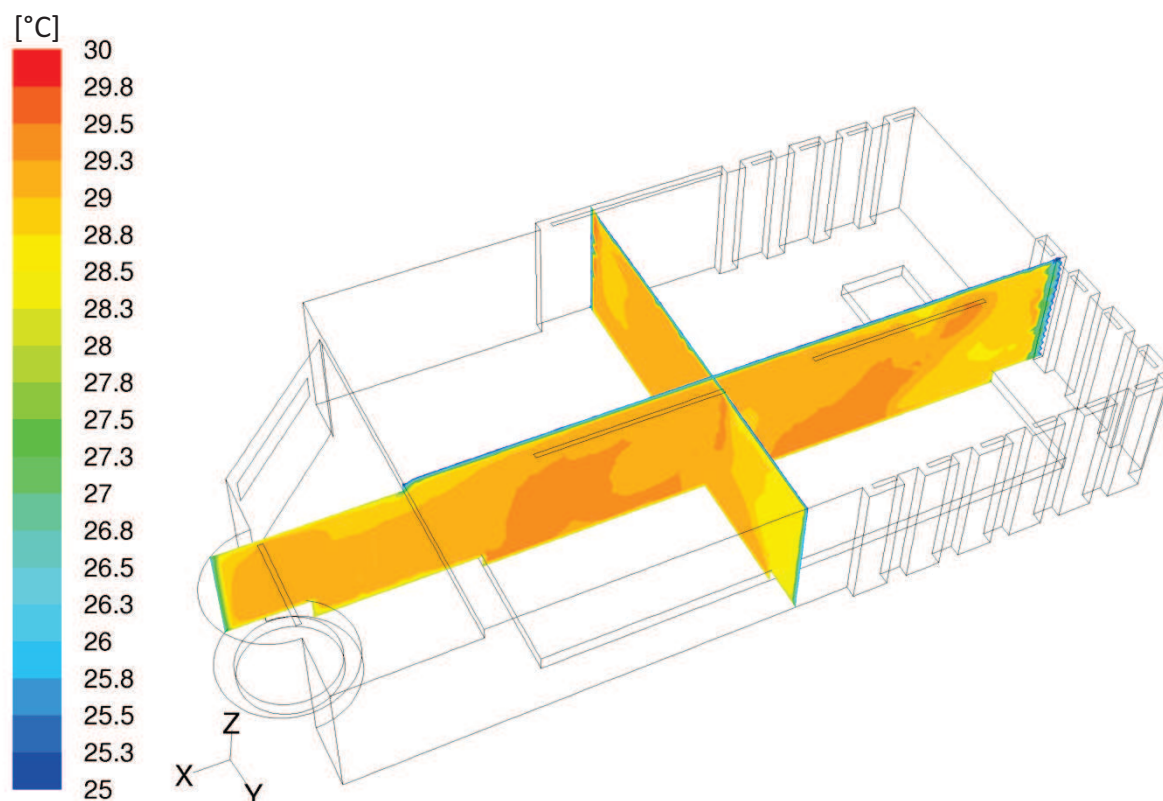
Obrázek 33 - Alternativa III. - geometrie

Teplotní rozložení bylo již dle očekávání nejvíce vyrovnané a pohybuje se kolem hodnoty $28,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato hodnota se poměrně běžně vyskytuje i v ostatních výškách. Této teplotní rovnoměrnosti bylo dosaženo kombinací teplovzdušného vytápění „shora-nahoru“ a podlahového vytápění (celý systém důmyslně podporuje i teplá voda v bazénu). Důkaz tohoto tvrzení o stálosti teploty i po výšce je zobrazen na obrázku (

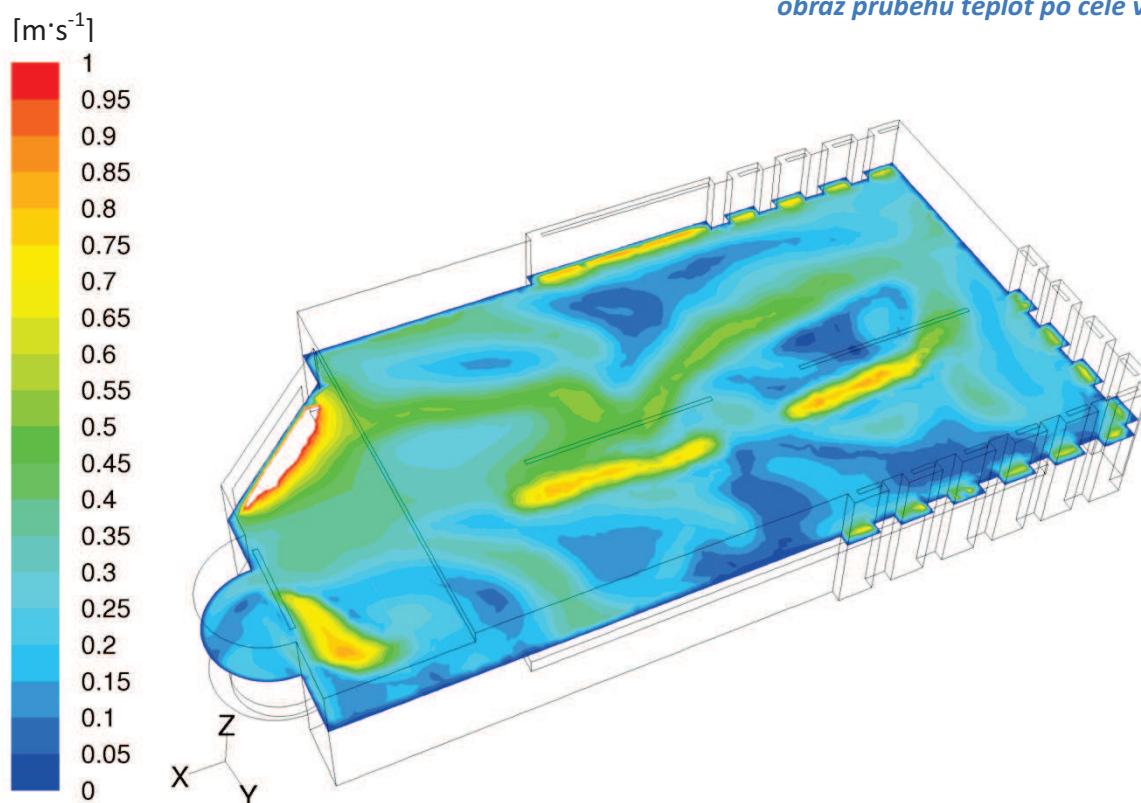
cacscfbbfbhnhndfgdfggsg Obrázek 35). Nižší teploty jsou pouze v mezních vrstvách konstrukcí ohraničujících prostor, ovšem i ty neklesnou pod hodnotu 25 °C, což je teplota vysoko nad rosným bodem.



Obrázek 34 - Alternativa III. - obraz průběhu teplot v obytné zóně



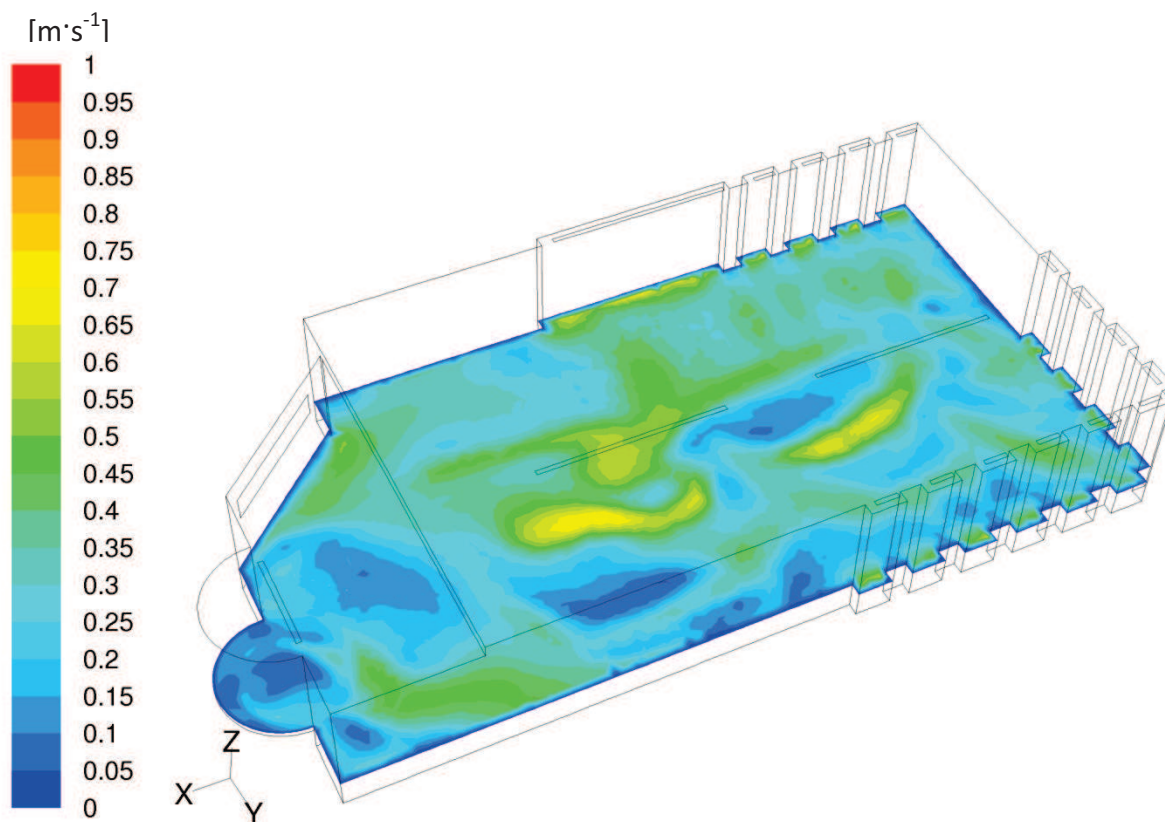
*Obrázek 35 - Alternativa III. -
obraz průběhu teplot po celé výšce*



Obrázek 36 - Alternativa III. - obraz průběhu rychlosti v pobytové zóně

Na obrázku (Obrázek 36) zobrazující rozložení rychlostí v pobytové zóně můžeme pozorovat, že v místech komunikace osob kolem bazénu je rychlost v průměru na hodnotě $0,35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vyšších rychlostí je dosahováno pouze nad vodními plochami, kde ve výšce 1,6 m osoby obtěžovat nemůže.

Obdobně je tomu i ve výšce 0,6 m nad podlahou (cca 0,9m nad vodní hladinou). Po ploše v této úrovni je dosahuje rychlost průměrné hodnoty $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vyšších rychlostí (cca $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) dosahuje vzduch pouze nad hladinou bazénu, ovšem i tyto plochy nejsou příliš rozsáhlé a tudíž můžeme rychlostní obraz považovat za vyhovující (viz Obrázek 37).



Obrázek 37 - Alternativa III. - obraz průběhu rychlosti ve výšce 0,6m

8. VYHODNOCENÍ

Simulačnímu procesu byly podrobeny 3 zvolené distribuce čerstvého vzduchu nutného pro odvedení přebytečné vlhkosti vzduchu v místnosti. Porovnávání jednotlivých variant mezi sebou je na základě 3 určených rozhodujících faktorů popsanych v bodě 5 této kapitoly (strana 61) ve 3 referenčních rovinách.

a. Rovnoměrné rozložení teplot

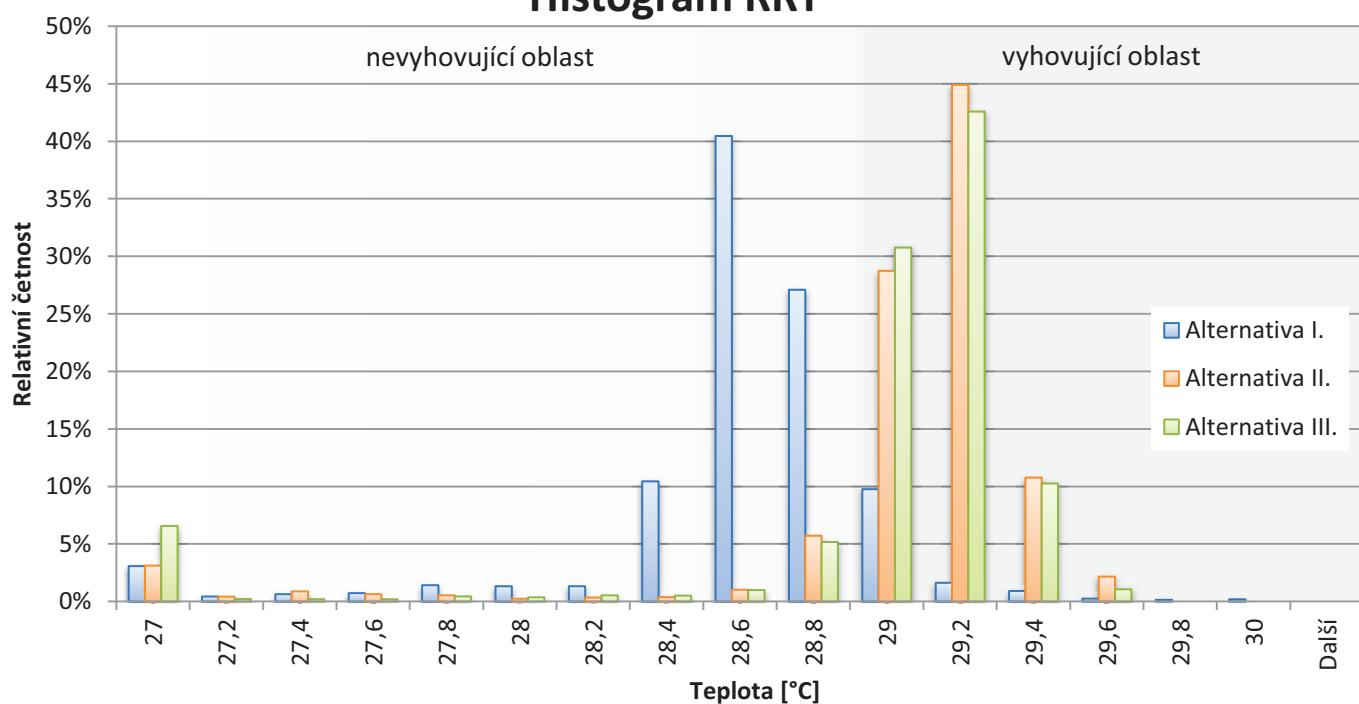
Prvním požadavkem je rovnoměrné rozložení teploty (RRT) v místnosti. Tedy porovnání obrázků Obrázek 26, Obrázek 30 a Obrázek 34. Na první pohled varianta I. oproti dalším dvěma zaostává. Hlavní rozhodování je tedy mezi alternativou II. a III. Jelikož mají obě varianty podobný grafický výstup rozložení teploty v rovině 1,70 m nad podlahou, bylo zapotřebí vyhotovení výpisu teplot v této rovině a porovnání přesných číselných hodnot (*Tabulka 8*). *A grafický výstup prezentuje*

Graf 12, jež prezentuje relativní četnosti jednotlivých teplot. Absolutní četnosti není možné použít, protože každá geometrie má jiný počet prvků konečného objemu.

Tabulka 8 - Porovnání rozložení teploty v referenční rovině 1,7m

Teplota	Alternativa I.		Alternativa II.		Alternativa III.	
	Četnost	Relativní četnost	Četnost	Relativní četnost	Četnost	Relativní četnost
27	381	3%	703	3%	897	7%
27,2	55	0%	97	0%	31	0%
27,4	80	1%	200	1%	29	0%
27,6	91	1%	145	1%	28	0%
27,8	176	1%	123	1%	62	0%
28	165	1%	56	0%	51	0%
28,2	165	1%	79	0%	74	1%
28,4	1290	10%	87	0%	71	1%
28,6	4994	40%	232	1%	137	1%
28,8	3345	27%	1286	6%	707	5%
29	1206	10%	6454	29%	4196	31%
29,2	202	2%	10083	45%	5808	43%
29,4	114	1%	2420	11%	1400	10%
29,6	32	0%	487	2%	146	1%
29,8	19	0%	0	0%	0	0%
30	25	0%	0	0%	0	0%
Další	0	0%	0	0%	0	0%
Σ	12340	100%	22452	100%	13637	100%

Histogram RRT



Graf 12 – Histogram relativních četností teplot v referenční rovině 1,7m

V histogramu je názorné procentuální zastoupení jednotlivých hodnot. Jak již bylo určeno podle vizuálního hodnocení, varianta I. má rozložení teplot sice poměrně rovnoměrné, ovšem oproti zbylým variantám se zde vyskytují teploty nižší. Podle doporučení by měla být teplota vzduchu o 1 až 2 °C vyšší, než je teplota vody. Proto o nejideálnější distribuci z hlediska rovnoměrnosti rozložení teploty soupeří zbylé dvě zbylé alternativy, které mají téměř shodné procentuální zastoupení. Alternativa II. ovšem o 1% vyšší.

b. Nízká rychlost proudění vzduchu

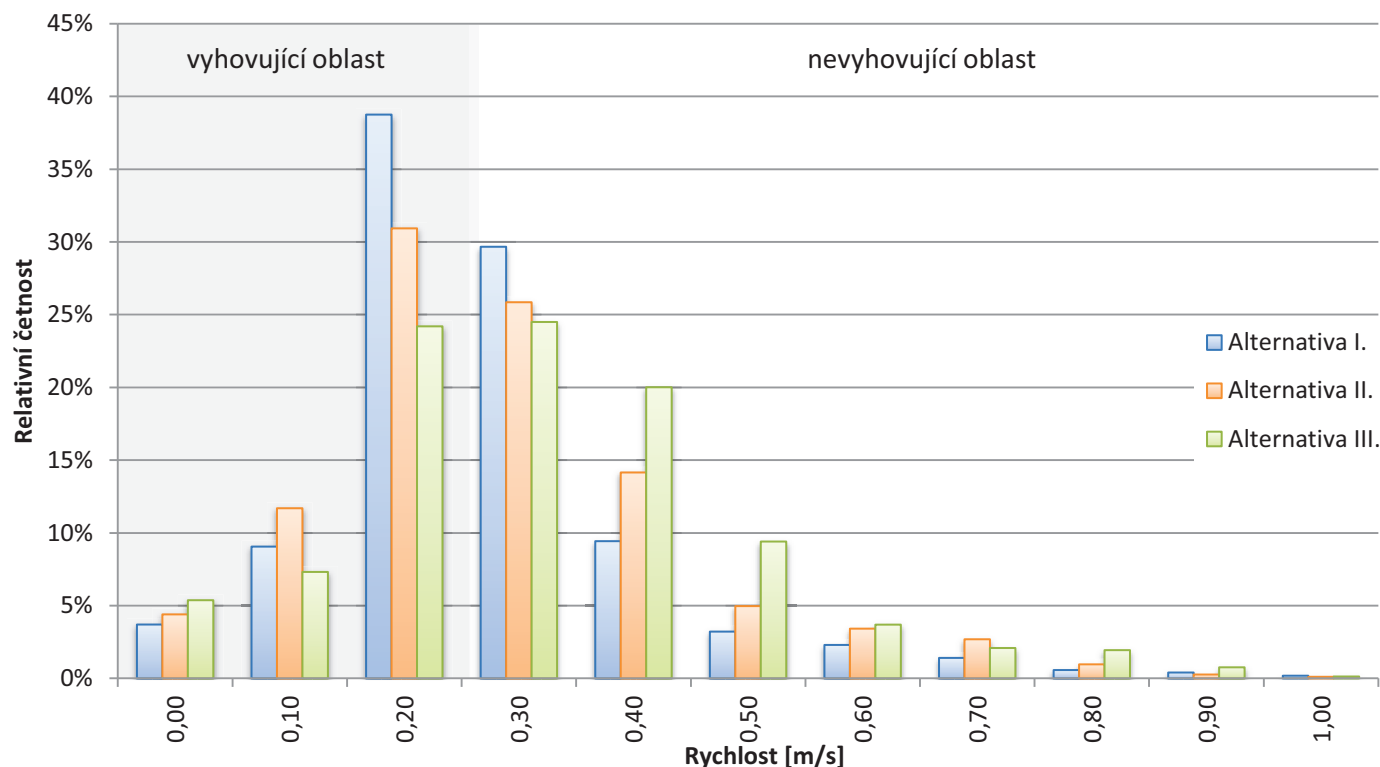
Požadavek na nízkou rychlost je třeba brát v úvahu z toho důvodu, že se v místnosti pohybují osoby velmi spoře oděné, lépe řečeno téměř neoděné. Navíc zde hraje i svoji roli fakt, že se jedná o lidi, kteří jsou čerstvě po koupání (plavání) v bazénu mokří a při odpařování kapek vody z pokožky jsou dosti ochlazováni, jelikož výparné teplo vody nabývá hodnoty $2,5 \cdot 10^6$ J/kg.

Analýza tohoto faktoru pouze vizuálním zhodnocením obrázků Obrázek 27, Obrázek 31 a Obrázek 36, neposkytne jednoznačně rozhodnutí o ideální variantě z hlediska nízké rychlosti proudění vzduchu, proto stejně jako při rozhodování o předchozím parametru rozhodly čísla (Tabulka 9 a Graf 13).

Tabulka 9 - Procentuální výskyt rychlostí v referenční rovině 1,7m

Referenční rovina 1,70 m						
Rychlost [m/s]	Alternativa I.		Alternativa II.		Alternativa III.	
	Četnost	Relativní četnost	Četnost	Relativní četnost	Četnost	Relativní četnost
0,00	457	3,70%	988	4,40%	733	5,38%
0,10	1118	9,06%	2626	11,70%	998	7,32%
0,20	4782	38,75%	6945	30,93%	3300	24,20%
0,30	3661	29,67%	5805	25,86%	3341	24,50%
0,40	1164	9,43%	3178	14,15%	2729	20,01%
0,50	397	3,22%	1116	4,97%	1283	9,41%
0,60	284	2,30%	768	3,42%	504	3,70%
0,70	174	1,41%	604	2,69%	285	2,09%
0,80	71	0,58%	217	0,97%	265	1,94%
0,90	50	0,41%	60	0,27%	104	0,76%
1,00	23	0,19%	25	0,11%	18	0,13%
Další	159	1,29%	120	0,53%	77	0,56%
Σ	12340	100%	22452	100%	13637	100%

Histogram rychlosti v 1,7m nad podlahou



Graf 13 - Histogram relativních četností rychlostí v referenční rovině 1,7m

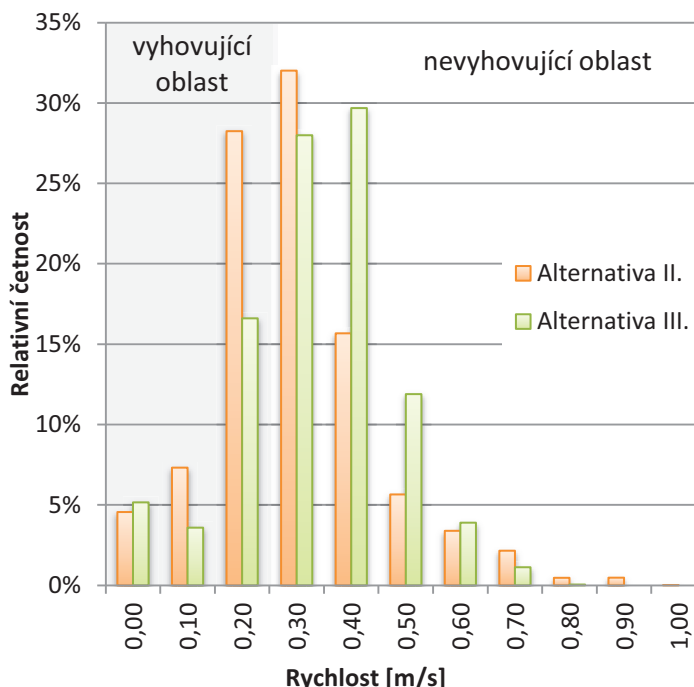
Histogram rychlosti v referenční rovině 1,70 m napovídá, že I. verze distribuce vzduchu nejlépe vyhovuje kritériu nízké rychlosti proudění vzduchu. Je třeba vzít ale v úvahu fakt, že graf prezentuje rozložení po celé ploše, tedy i nad vodní hladinou, kde výška 1,70 m není rozhodující. Je třeba opět srovnat výsledky histogramu s vizuálním posouzením alternativy I. (Obrázek 27 a Obrázek 28) a přiklonit se k názoru, že na výstupu z přírodních vyústek a v jejím blízkém okolí dosahují rychlosti poměrně vysokých hodnot. Tento prostor je navržen pro pohyb osob mezi terasou a vstupem do bazénu ze šaten.

Druhá nejlépe vyhovující varianta je distribuce systému „ZDOLA NAHORU“. Tato verze ovšem skrývá úskalí obtěžování osob relaxujících na lehátkách (cca ve výšce 0,60 m nad úrovní podlahy). Přírodní štěrbinové vyústky jsou osazeny ve svislé stěně 0,30 m nad podlahou a tudíž je toto riziko nutné posoudit v referenční rovině 0,60 m.

Tabulka 10 - Procentuální výskyt rychlostí v referenční rovině 0,6m

Referenční rovina 0,60 m				
Rychlost [m/s]	Alternativa II.		Alternativa III.	
	Četnost	Relativní četnost	Četnost	Relativní četnost
0,00	1050	4,56%	715	5,16%
0,10	1686	7,32%	497	3,59%
0,20	6506	28,25%	2301	16,61%
0,30	7373	32,01%	3879	28,00%
0,40	3610	15,67%	4113	29,68%
0,50	1302	5,65%	1648	11,89%
0,60	781	3,39%	540	3,90%
0,70	496	2,15%	156	1,13%
0,80	108	0,47%	7	0,05%
0,90	110	0,48%	0	0,00%
1,00	4	0,02%	0	0,00%
Další	5	0,02%	0	0,00%
Σ	23031	100%	13856	100%

Histogram rychlosti 0,6m nad podlahou



Graf 14 - Histogram relativních četností rychlostí v referenční rovině 0,6m

Tabulka 10 a

Graf 14 popisují stav rychlostí proudění a rozdělení do kategorií po 0,1 m/s, z čehož můžeme vyčíst, že druhému kritériu taktéž nejlépe vyhovuje alternativa II., která má jednoznačně nejvyšší procentuální zastoupení ve vyhovující oblasti.

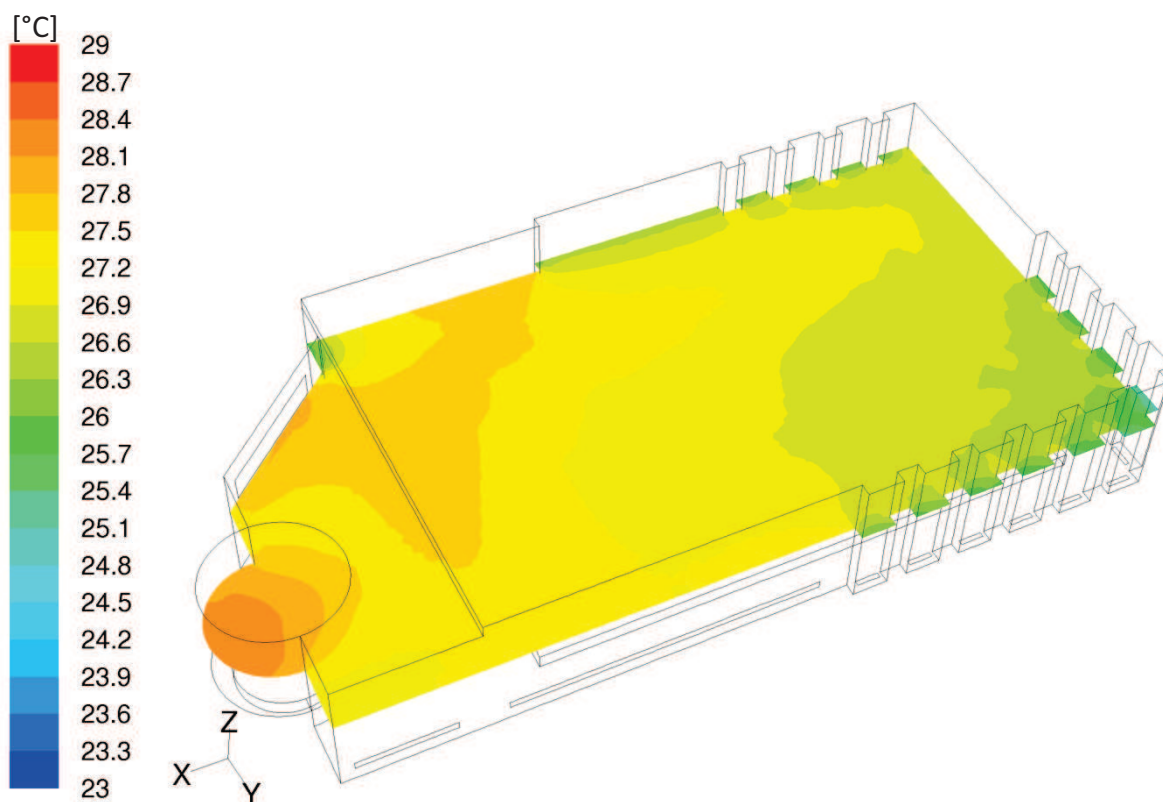
c. Nízký index PPD

Index PPD (predicted percentage dissatisfied = předpokládané procento nespokojených) zavádí norma ČSN EN ISO 7730 - Mírné tepelné prostředí - Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody. Dnes je to častý ukazatel při posuzování komfortu vnitřního

mikroklimatu, jelikož pracuje s operativní teplotou, která zahrnuje jak složku radiační, tak i konvektivní.

Stejně jako předešlá dvě kritéria byla rozhodnuta na základě grafického zpracování procentuálního zastoupení teploty nebo rychlosti v dané rovině, tak i index PPD byl spočítán po celé této ploše a z vypočtených hodnot (Tabulka 11) a po té vyhotoven Graf 15. Výpočet respektuje postup z výše zmíněné normy.

Konvektivní složka (rychlost) už je známa z dřívějšího posuzování, ale pro výpočet PPD je třeba znát i složku radiační. Jelikož předchozí kritéria nejlépe plní II. alternativa distribučního návrhu, je poměrně pravděpodobné, že i index PPD bude nejlépe vycházet pro tento návrh. Proto bylo třeba zjistit další potřebné hodnoty pro výpočet. Prvním z nich, je výpis středních radiačních teplot (SRT) v pobytové zóně. Rozložení SRT II. návrhu názorně prezentuje Obrázek 38, který ukazuje, že v oblasti, kde je větší část prosklené obvodové konstrukce, je sálavá složka intenzivnější a tím i nižší SRT.



Obrázek 38 - Rozložení středních radiačních teplot v referenční rovině 1,7m alternativy II.

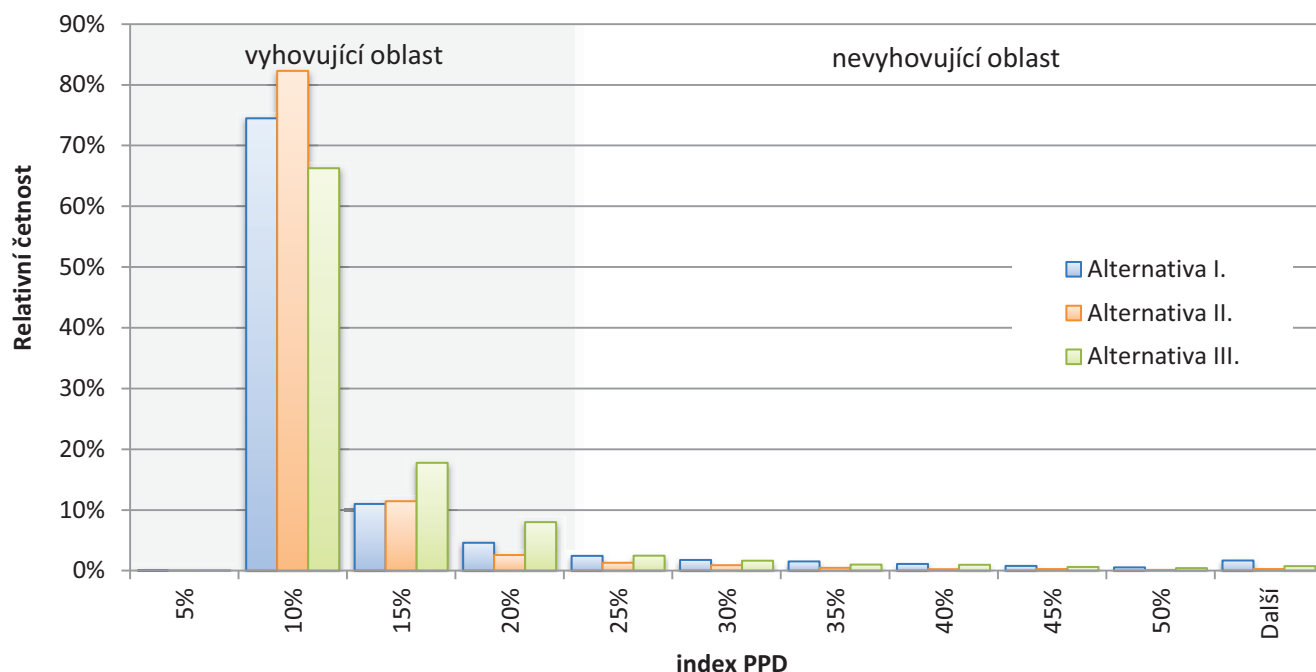
Dále bylo třeba zvolit zbývající vstupní hodnoty, kterými jsou:

- izolace oblečení [clo]
pro náš případ hodnota 0,05 clo, jelikož se uvažuje vstup pouze v plavkách
- teplo produkované organismem [met]
Stání, práce v sedě: $70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 1,2 \text{ met}$
- relativní vlhkost v místnosti [%]
návrhová vlhkost vzduchu v zimě v místnosti je $\varphi = 60 \%$

Tabulka 11 - Procentuální výskyt indexu PPD v referenční rovině 1,7m

Referenční rovina 1,70 m						
PPD	Alternativa I.		Alternativa II.		Alternativa III.	
	Četnost	Relativní četnost	Četnost	Relativní četnost	Četnost	Relativní četnost
5%	1	0%	6	0%	4	0%
10%	9192	74%	18478	82%	9038	66%
15%	1357	11%	2570	11%	2423	18%
20%	568	5%	581	3%	1091	8%
25%	302	2%	294	1%	338	2%
30%	219	2%	204	1%	225	2%
35%	189	2%	107	0%	138	1%
40%	138	1%	56	0%	133	1%
45%	98	1%	62	0%	85	1%
50%	68	1%	31	0%	59	0%
Další	208	2%	63	0%	103	1%
Σ	12340	100%	22452	100%	13637	100%

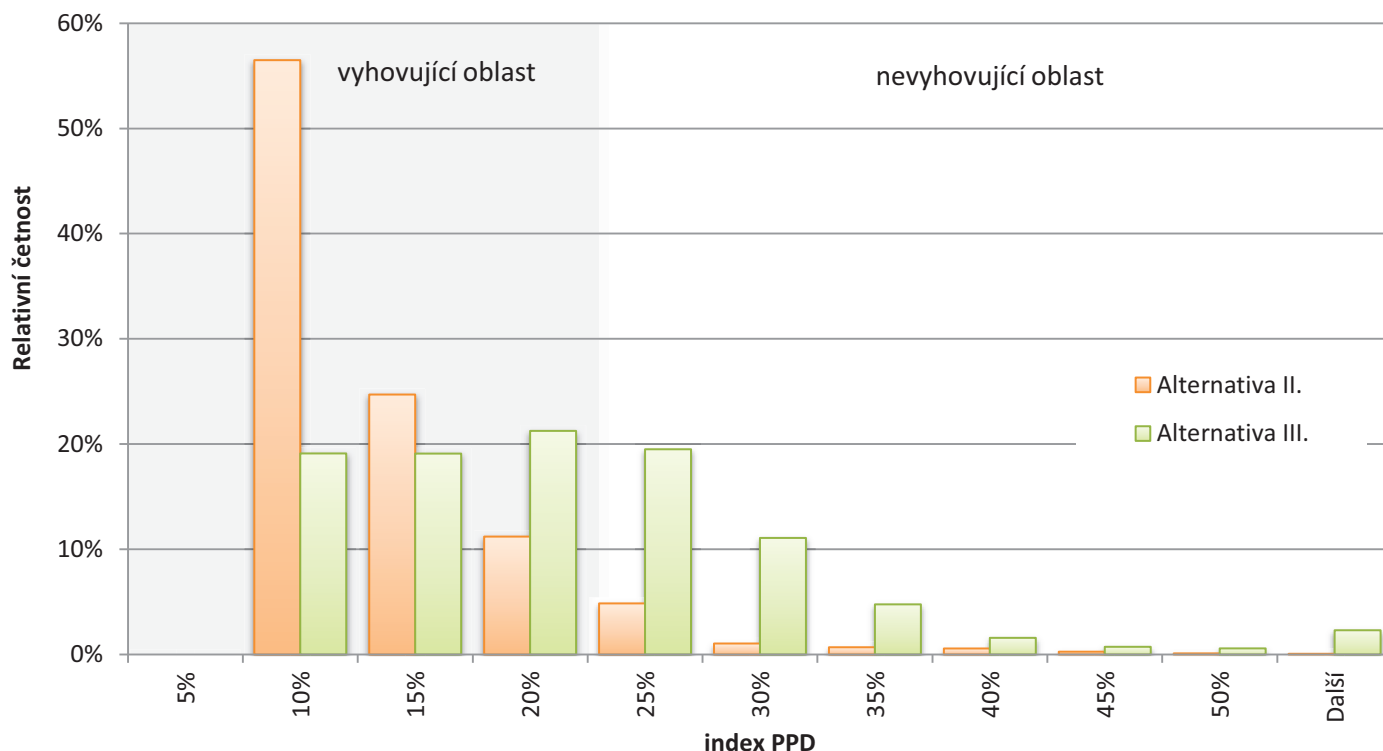
Histogram indexu PPD 1,7m nad podlahou



Graf 15 - Histogram relativních četností indexu PPD v referenční rovině 1,7m

Dle předpokladu opět vychází varianta II. jako nejlépe vyhovující. Ze stejného důvodu, jako tomu bylo v předchozím hodnocení, posuzována byla i referenční rovina v úrovni ležících osob (0,6 m). Tento posudek zobrazuje graf 16.

Histogram indexu PPD 0,6m nad podlahou



Graf 16 - Histogram relativních četností indexu PPD v referenční rovině 0,6m

9. ZÁVĚR

Simulací v softwaru FLUENT byla vybrána nejlépe vyhovující varianta distribuce vzduchu, jejíž obrazy rychlosti proudění a rozložení teplot ve dvou hlavních zónách (výškách), ve kterých se běžně lidé pohybují, nejlépe vyhovují předem stanoveným kritériím (na str. 61).

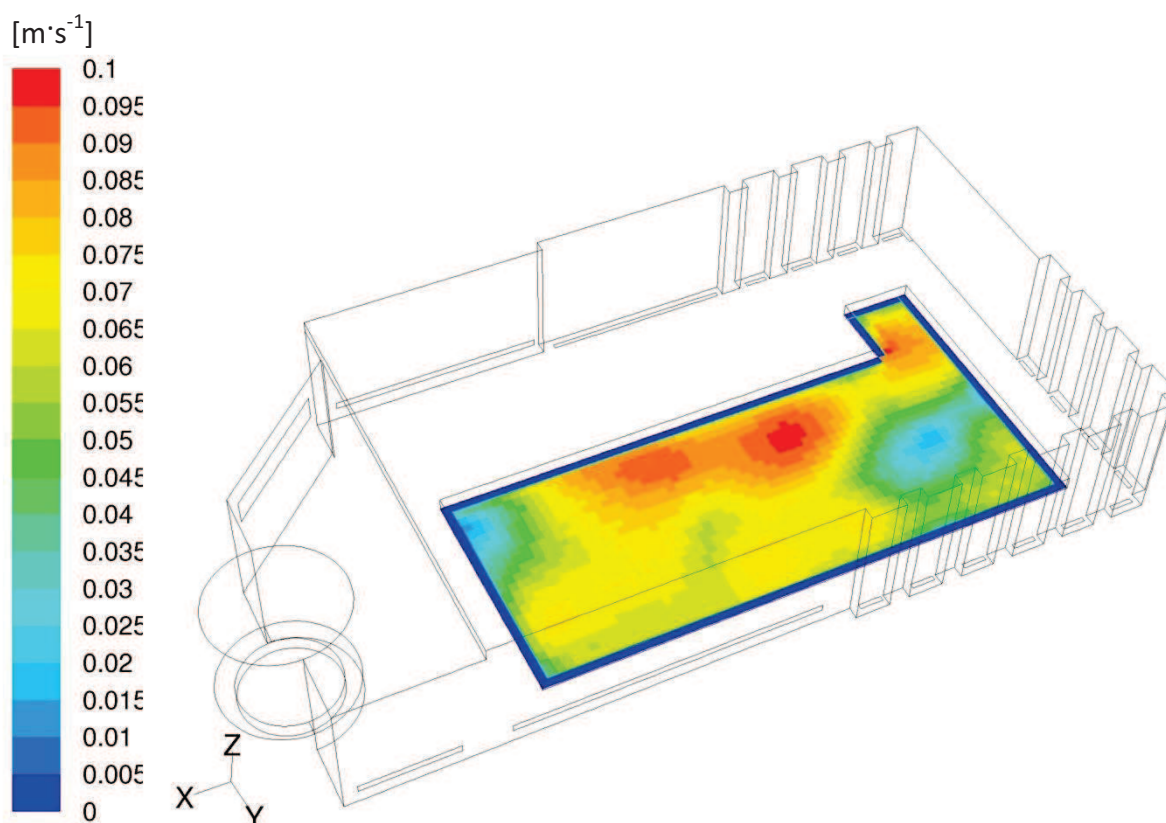
- odvlhčuje vnitřní vzduch potřeným množstvím čerstvého přívodního vzduchu
- udržují v celém objemu místnosti stejnou teplotu s odchylkou $\pm 0,5$ °C
- distribuce vzduchu je navržena tak, že proudění neobtěžuje uživatele (zákazníky, rekreanty) rychlostí překračující hygienické limity
- 96 % relativní četnost indexu PPD splňující max. předpoklad nespokojených do 20 %, tedy pouhá 4% nespokojených zákazníků, kteří se budou muset zabalit do ručníku

Varianta, která nejvíce vyhovuje těmto parametrům, je návrh distribuce II. „ZDOLA NAHORU“, se kterou také můžeme dále počítat v následující kapitole PROJEKT.

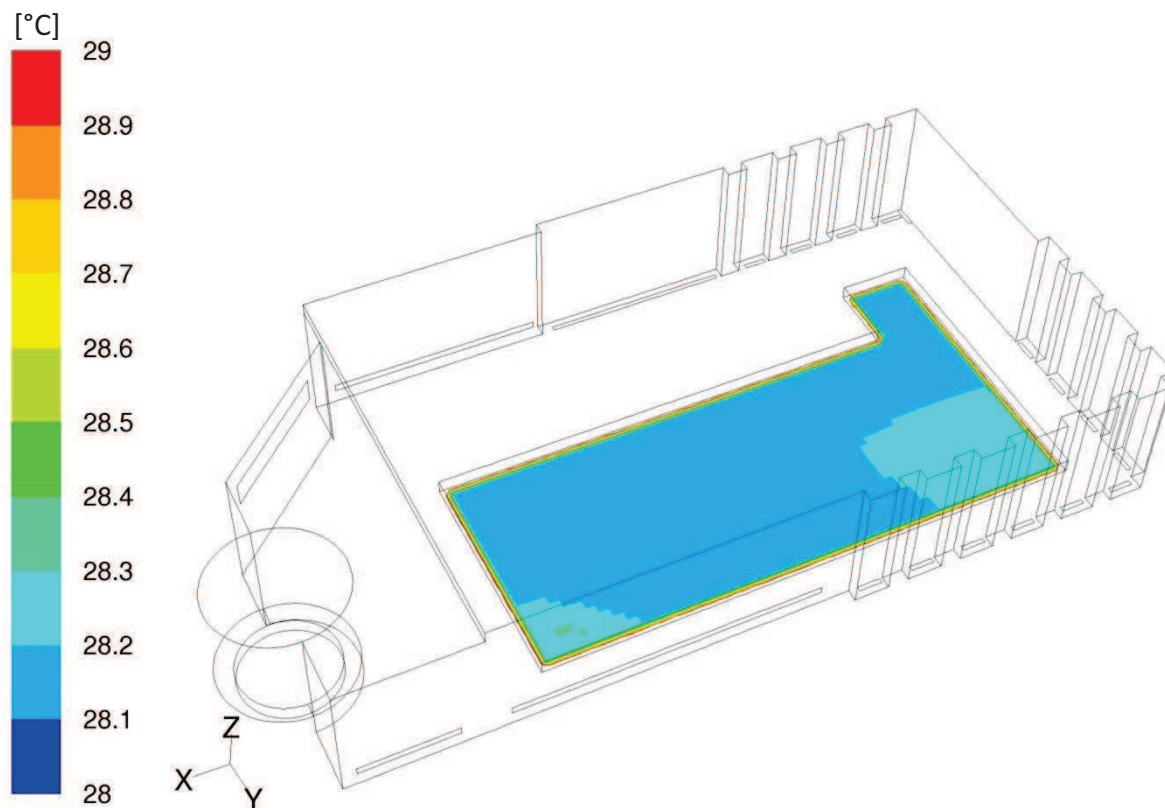
G. APLIKACE VLASTNÍ EMPIRICKÉ ROVNICE

1. NA ZADANOU MÍSTNOST

Pro návrh VZT jednotky je zapotřebí znát tepelné a vodní zisky. Velké množství vodních zisků činí odpar z vodní hladiny bazénu nebo smáčených podlah, proto je zapotřebí zabývat touto problematikou podrobněji. Odpar z vodní hladiny ovlivňuje do jisté míry i rychlost, která není v mezní vrstvě konstantní, ale velmi proměnlivá. Jelikož bylo k optimalizaci použito výpočetní techniky s profesionálním softwarem CFD simulací, je možné vytvořit přesný výpis rychlostí v jakémkoliv místě objemu místnosti. Není tedy problém zjistit průběh rychlostí v mezní vrstvě nad volnou hladinou (Obrázek 39) a současně s tím i teplotní rozvržení nad vodní plochou (Obrázek 40).



Obrázek 39 – Obraz rozvržení rychlostí v mezní vrstvě nad vodní hladinou bazénu



Obrázek 40 - *Obraz rozvržení teplot v mezní vrstvě nad vodní hladinou bazénu*

Se znalostmi z experimentálního měření a následně vytvořené empirické rovnice je možné poměrně přesně určit hmotnostní tok odpařené vodní páry. Tím dostáváme dostatečný podklad pro návrh odvlhčovacího zařízení zakomponované přímo ve VZT jednotce nebo mimo ní.

2. NA DALŠÍ PROBLEMATICKÉ PROVOZY

Výše popsany postup výpočtu odpařené množství je poměrně zdoluhavý a běžnému uživateli může připadat nepohodlný. A jelikož bylo v experimentální části zjištěno, že nově vytvořený vztah (Rovnice 14) popisující odpařování z volné vodní hladiny dosahuje v rozsahu použití (str. 48) oproti známým vztahům vyšších přesností (Tabulka 6), bylo by vhodné implementovat aproximační formuli do libovolného softwaru pro CFD simulace nebo vytvořit program nový. Tento krok by byl jistě přínosem pro širokou veřejnost, vyžaduje ovšem velké znalosti v programování takových softwarů, proto už není v této diplomové práci zařazen mezi hlavní témata.

2. ANALÝZA OBJEKTU

Jednotlivé půdorysné podklady jsou součástí přílohy diplomové práce.

Z celého 1.NP byla pro účely diplomové práce vybrána sportovní bazénová část pro plavce s relaxační částí vířivky. Tato místnost byla vybrána účelně kvůli vysokému pohybu osob a velkému množství vody v bazénu a vířivce. Zároveň je bazénová část v objektu umístěna tak, že pouze jednou stěnou sdílí teplo s další interiérovou částí wellness centra a zbylé stěny tvoří obvodové konstrukce s prosklenými částmi. Půdorys je znázorněn na Obrázek 17.

Řešená místnost se skládá z konstrukcí tvořených mnoha materiály rozmanitých vlastností, jejichž kombinací je dosahováno různých hodnot součinitele prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K$] a následující Tabulka 12 prezentuje výpis skladeb ohraničující bazénovou halu. Tento součinitel je počítán dle normy ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Požadavky, která zmiňuje tento součinitel prostupu tepla, jež musí být menší než normová hodnota požadovaná (doporučená) a řídí se následujícími vzorci:

$$R_T = R_{si} + \sum_1^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}$$

R_T ... celkový odpor konstrukce [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]

R_{si} ... odpor na vnitřní straně konstrukce [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]

R_{se} ... odpor na vnější straně konstrukce [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]

$$U = \frac{1}{R_T}$$

U ... součinitel prostupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

Rovnice 28 - Výpočet součinitele prostupu tepla U

Označení jednotlivých skladeb je na předchozím obrázku (Obrázek 41).

Tabulka 12 - Výpis skladeb konstrukcí

označení	Materiál	Tloušťka	Součinitel tepelné vodivosti	Tepelný odpor	Součinitel prostupu tepla
		t [m]	λ [W/m.K]	R [m ² .K/W]	U [W/m ² .K]
S1	interiér			0,13	
	omítka vnitřní	0,01	0,8	0,01	
	YTONG P2-300	0,3	0,08	3,75	
	rockwool Airrock	0,12	0,039	3,08	
	omítka venkovní	0,015	0,13	0,12	
	exteriér			0,04	
	celkem	0,45	-	7,12	0,140
S2	interiér			0,13	
	omítka vnitřní	0,01	0,8	0,01	
	YTONG P2-500	0,1		0,77	
	omítka vnitřní	0,01	0,8	0,01	
	interiér			0,13	
	celkem	0,12	-	1,06	0,948
P1	interiér			0,10	
	dlažba	0,1	1,1	0,09	
	Betonová deska	0,3	1,3	0,23	
	hydroizolace				
	rockwool Steprock	0,08	0,039	2,05	
	Betonová mazanina	0,05	1,3	0,04	
	ŽB deska	0,2		0,36	
	interiér			0,10	
	celkem	0,73	-	2,97	0,337
STŘ	interiér		0,17	0,10	
	panel	0,175	1,3	0,13	
	rockwool Airrock	0,2	0,039	5,13	
	hydroizolace				
	Betonová mazanina	0,1	1,3	0,08	
	pozinkovaný plech	0,001	80,2	0,00	
	exteriér			0,04	
	celkem	0,48	-	5,48	0,182

3. Tepelné ztráty

Pro výpočet tepelných ztrát byla v programu Microsoft Excel vytvořena universální tabulka, kterou byly počítány tepelné ztráty místnosti zadaného objektu. Tabulka 13 byla zkonstruována tak, aby respektovala ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách – VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU. Tedy lze říci, že postup, který byl uplatněn na výpočtu tepelných ztrát místností souznívá krok po kroku se zmíněnou ČSN EN 12831 a výpočet lze brát jako ruční výpočet dle následujících vzorců:

Celková návrhová tepelná ztráta:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$$

$\Phi_{T,i}$...celková tepelná ztráta prostupem tepla

$\Phi_{V,i}$...celková tepelná ztráta větráním prostoru

Φ_i ...celková návrhová tepelná ztráta prostoru

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$$

$\Phi_{T,i}$...celková tepelná ztráta prostupem tepla

$H_{T,ie}$...ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budovy

$H_{T,iue}$...ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem

$H_{T,ig}$...ztráta do zeminy z vytápěného prostoru

$H_{T,ij}$...ztráta z vytápěného prostoru do sousedních prostor vytápěných na rozdílnou teplotu

$\Theta_{int,i}$...výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru

Θ_e ...výpočtová venkovní teplota

Tepelná ztráta do venkovních prostor

$$H_{T,ie} = \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum \psi \cdot \ell \cdot e$$

Zjednodušená metoda pro stanovení lineárních tepelných ztrát:

$$U_{ke} = U_k + \Delta U$$

A_k ...plocha stavební konstrukce

U_k ...součinitel prostupu tepla stavební části

e_k, e ...korekční součinitel vystavení povětrnostním vlivům

ℓ ...délka lineárních tepelných mostů

ψ ...činitel lineárních tepelných mostů

U_{ke} ...součinitel prostupu tepla zahrnující vliv tepelných mostů

ΔU ...korekční součinitel závisující na druhu stavební části

Tepelná ztráta nevytápěným prostorem

$$H_{T,iue} = \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum \psi \cdot \ell \cdot b_u$$

b_u ...teplotní korekční činitel

Tepelná ztráta nevytápěným prostorem

$$H_{T,ig} = f_{g_1} \cdot f_{g_2} \cdot \left(\sum A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w$$

$$f_{g_2} = \frac{\Theta_{int,i} - \Theta_{m,e}}{\Theta_{int,i} - \Theta_e}$$

f_{g_1} ...korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty

f_{g_2} ...teplotní redukční činitel

A_k ...plocha stavební konstrukce přiléhající k zemině

$U_{equiv,k}$...korekční ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části

G_w ...korekční činitel zohledňující vliv spodních vod

Ztráta nevytápěným prostorem

$$H_{T,j} = \sum A_k \cdot U_k \cdot f_{i,j}$$

$$f_{i,j} = \frac{\Theta_{int,i} - \Theta_{int,s}}{\Theta_{int,i} - \Theta_e}$$

f_{g_1} ...redukční teplotní činitel

Tepelná ztráta větráním

$$\Theta_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e)$$

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot V_i$$

$$V_i = \max(V_{inf,i}; V_{min,i})$$

$$V_{inf,i} = n_{min} \cdot V_i$$

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i$$

$H_{V,i}$...součinitel návrhové tepelné ztráty větráním

V_i ...objem vytápěné místnosti

$V_{inf,i}$...množství vzduchu infiltrací ve vytápěné místnosti

$V_{min,i}$...minimální množství vzduchu k provětrání z hygienických důvodů

n_{min} ...minimální intenzita výměny venkovního vzduchu

n_{50} ...intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa

$e_{i,k}$...stínící činitel

ε_i ...výškový korekční činitel

Výpis jednotlivých hodnot prezentuje následující Tabulka 13.

Tabulka 13 - Tepelné ztráty místnosti

Výpočet tepelné ztráty prostupem pro místnost č.

BAZÉN

teplota

28 °C

Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí									
Stavební konstrukce									
Č.k.	Ozn.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{kc}		e_k	$A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$
1	S1	Stěna - obvodová	71,61	0,14	0,05	0,19		1	13,606
2	O1	Prosklená stěna	44,54	0,9	0,05	0,95		1	42,313
3	STR	Střešní plášť	146,81	0,182	0,05	0,232		1	34,060
4				0	0	0		1	0,000
5				0	0	0		1	0,000
Celková měrná tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí									89,98

Tepelné ztráty nevytápěným prostorem									
Stavební konstrukce									
Č.k.	Ozn.	Popis	A_k	U_k	ΔU	U_{kc}	teplota místnosti	b_u	$A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$
1	S2	Stěna - vnitřní	5,59	0,948	0,05	0,998	15	0,325	1,8131165
2	P1	Podlaha (dlažba)	157,42	0,337	0,05	0,387	15	0,325	19,7995005
3				0	0	0		0,700	0
Celková měrná tepelná ztráta přes nevytápěný prostor $HT_{iue} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$ [W/K]									21,61

Tepelné ztráty z/do prostorů vytápěných na rozdílné teploty									
Stavební konstrukce									
Č.k.	Ozn.	Popis	A_k	U_k	teplota místnosti	f_{ij}			$A_k \cdot U_{kc} \cdot f_{ij}$
1	S2	Stěna - vnitřní - TĚLOCVIČNA	7,657	0,948	18	0,2500			1,814709
2	S2	Stěna - vnitřní - SPRCHY	10,665	0,948	24	0,1000			1,011042
3	D1	Dveře - SPRCHY	3,2	1	24	0,1000			0,32
4	S2	Stěna - vnitřní - SAUNA	7,56	0,948	80	-1,3000			-9,316944
5				0		0,7000			0
Celková měrná tepelná ztráta z/do prostor s odlišnou teplotou $HT_{ij} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot f_{ij}$ [W/K]									-6,17

Tepelné ztráty zeminou									
Stavební konstrukce									
Č.k.	Ozn.	Popis	A_k	$U_{equiv,k}$	$A_k \cdot U_{equiv,k}$	U_{kc}	teplota místnosti	f_{ij}	$A_k \cdot U_{kc} \cdot f_{ij}$
1				0,1196	0				
2				0,1196	0	1,45	0,60	1	0,87
$\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}$					0				
Celková měrná tepelná ztráta zeminou									0,00
Celková měrná tepelná ztráta prostupem									105,42
			$\Theta_{int,i}$	Θ_e	$\Theta_{int,i} - \Theta_e$	$H_{r,i}$	Návrhová tepelná ztráta prostupem		
			28	-12	40	105,4202	4216,81		

Tepelná ztráta větráním – přirozené větrání pro místnost č.

BAZÉN

Objem místnosti V_i [m ³]	Výpočtová venkovní teplota Θ_e	Výpočtová vnitřní teplota $\Theta_{int,i}$	Hygienické požadavky	
461,002	-12	28	$n \cdot (h-1)$	230,501
			0,5	
Počet nechráněných otvorů	n_{50}	Činitel zaclonění e	Výškový korekční činitel ϵ	Množství vzduchu infiltrací $V_{inf,i}$ [m ³ /h]
-	2	0,05	1	92,2004
max. z $V_{min,i}$ a $V_{inf,i}$	$H_{v,i}$	$\Theta_{int,i} - \Theta_e$	Návrhová tepelná ztráta větráním	
230,501	78,37034	40	3134,81	

Celková návrhová tepelná ztráta (prostupem + větráním)	7351,62
--	---------

4. Tepelné zisky

Obdobně jako pro výpočet tepelných ztrát bylo i pro tepelné zisky v letních měsících použito softwaru Microsoft Excel, ve kterém by zkonstruována universální tabulka. Tentokrát ovšem podle normy pro výpočet tepelných zisků, tudíž ČSN 73 0548 – VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE KLIMATIZOVANÝCH PROSTORŮ. Tabulka je opět vytvořena tak, že respektuje všechny kroky uvedené v této normě a lze tedy tento výpočet považovat za ruční výpočet tepelné zátěže objektu. Provádí se pro slunný den 21. července. Jedinou výjimku tvoří zadání produkce tepla zářivky. Dle normy by se měla pohybovat mezi 38 až 53 W/m², ovšem dnešní trh nabízí zářivková svítidla, která se běžně pohybuje mezi 7 – 15 W/m².

Vyplněním fialových polí program určí kritickou hodinu, maximální přímou i difúzní sluneční radiaci, polohu slunce apod. Výsledkem je opět tabulka místnosti s vypočtenými hodnotami zisků tepla citelného i vázaného (viz).

Určení doby výpočtu - τ

$$\sum I_i \cdot A_i = A_S \cdot I_S + A_{SV} \cdot I_{SV} + A_V \cdot I_V + A_{JV} \cdot I_{JV} + A_J \cdot I_J + A_{JZ} \cdot I_{JZ} + A_Z \cdot I_Z + A_{SZ} \cdot I_{SZ}$$

$I_i, I_S, I_{SV}, I_V, I_{JV}, I_J, I_{JZ}, I_Z, I_{SZ} \dots$ intenzita sluneční radiace pro 21. červenec a různé světové strany

$A_i, A_S, A_{SV}, A_V, A_{JV}, A_J, A_{JZ}, A_Z, A_{SZ} \dots$ plocha prosklené části objektu pro různé světové strany

$\text{Max } \sum I_i \cdot A_i \rightarrow$ výpočtová denní doba místnosti τ

Výška slunce nad obzorem

$h \dots$ určeno dle tabulky 4 (příloha 2 ČSN 73 0548)

sluneční azimut

$\alpha \dots$ určeno dle tabulky 4 (příloha 2 ČSN 73 0548)

Teplota venkovního vzduchu

$$t_e = t_{e,\max} - A \cdot [1 - \sin(15 \cdot \tau - 135)]$$

$t_{e,\max} \dots$ maximální teplota venkovního vzduchu, pro Brno $t_{e,\max} = 29^\circ\text{C}$

$A \dots$ amplituda kolísání teplot venkovního vzduchu, pro červenec $A = 7\text{ K}$

$\tau \dots$ sluneční čas

Sluneční deklinace

$$\delta = -23,5 \cdot \cos(30 \cdot M)$$

$M \dots$ číslo měsíce

Intenzity sluneční radiace přímé

$$I_D = 1350 \cdot e^{-0,1 \cdot z \cdot \left(\frac{16-H}{\sinh} \right)^{0,8}}$$

H ...nadmořská výška [km]

z ...součinitel znečištění atmosféry, pro červenec $z = 5$

Intenzita sluneční radiace difuzní

$$I_d = \left[1350 - I_D - (1080 - 1,4 \cdot I_D) \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \cdot \frac{\sinh}{3}$$

Tepelná zátěž prosklenými plochami:

- radiací

$$Q_{or} = [S_{OS} \cdot I_0 \cdot c_0 + (S_0 - S_{OS}) \cdot I_{odif}] \cdot s$$

S_{OS} ...osluněný povrch okna

I_0 ...celková intenzita sluneční radiace

I_{odif} ...intenzita difúzní sluneční radiace

c_0 ...korekce na čistotu atmosféry, pro velkoměstskou oblast $c_0 = 0,85$

s ...stínící součinitel

osluněná část okna:

$$S_{OS_j} = [b_{ok} - (e_1 - f)] \cdot [h_{ok} - (e_b - g)]$$

e_1 ...svislý stín, $e_1 = d \cdot \tan(\alpha - \gamma)$

e_2 ...vodorovný stín, $e_2 = c \cdot \frac{\tan(h)}{\cos(\alpha - \gamma)}$

f, g ...odstup od svislé a vodorovné části okna od slunolamů

d ...hloubka okna

c ...hloubka okna vzhledem k horní stínící desce

- Konvekci

$$Q_{o,k} = S_o \cdot U_o \cdot (t_e - t_i)$$

S_o ...plocha okna včetně rámu

U_o ...součinitel prostupu tepla oknem

$(t_e - t_i)$...rozdíl teplot na obou stranách okna

- Celková

$$Q_o = Q_{o,r} + Q_{o,k}$$

Tepelná zátěž vnějších stěn

- Stěny lehké

$$Q_s = U \cdot S \cdot (t_r - t_i)$$

S ...plocha stěny

U ...součinitel prostupu tepla stěny

t_r ...rovnocenná sluneční teplota venkovního vzduchu, $t_r = t_e + \frac{\varepsilon \cdot I}{\alpha_e}$

ε ...součinitel poměrné tepelné pohltivosti pro sluneční radiaci, dle tabulky 12

- Stěny středně těžké

$$Q_s = U \cdot S \cdot [(t_{rm} - t_i) + m \cdot (t_{r\psi} - t_{rm})]$$

t_{rm} ...průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin

$t_{r\psi}$...rovnocenná sluneční teplota v době o ψ dřívější, $\psi = 32 \cdot \delta - 0,5$

m ...součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou; $m = \frac{1 + 7,6 \cdot \delta}{2500^\delta}$

- Stěny těžké

$$Q_s = U \cdot S \cdot (t_{rm} - t_i)$$

Tepelná zátěž vnitřními stěnami

$$Q_s = U \cdot S \cdot (t_{i,s} - t_i)$$

$t_{i,s}$...teplota interiéru sousední místnosti

Tepelná zátěž od vnitřních zdrojů tepla

Produkce tepla lidmi

$$Q_\ell = n_\ell \cdot 6,2 \cdot (36 - t_i)$$

n_ℓ ...počet lidí, $n_\ell = 0,85 \cdot n_z + 0,75 \cdot n_d + n_m$

Produkce tepla od svítidel

$$Q_{SV} = A_m \cdot P \cdot c_1 \cdot c_2$$

A_m ...podlahová plocha místnosti

P ...celkový příkon svítidel včetně ztráty v předřadníku

c_1 ...součinitel současnosti používání svítidel

c_2 ...zbytkový součinitel

Produkce tepla od technologie

$$Q_m = c_1 \cdot \sum \left(c_2 \cdot c_3 \cdot \frac{N}{\eta_m} \right)$$

N ...štítkový výkon elektromotoru

η_m ...účinnost elektromotoru

c_1 ...součinitel současnosti chodu všech motorů

c_2 ...zbytkový součinitel při odsávání (bez odsávání $c_2 = 1$)

c_3 ...průměrné zatížení stroje

Vodní zisky

$$Q_\ell = n_\ell \cdot m_\ell$$

m_ℓ ...produkce vodní páry člověka, viz Tabulka 2

Odparem: Postup výpočtu viz kapitola G.

Tabulka 14 - Tepelná zátěž místnosti

BAZÉN		S		SV		V		JV		J		JZ		Z		SZ	
$\Sigma A \cdot I_0$	denní doba	A	I_0	A	I_0	A	I_0	A	I_0	A	I_0	A	I_0	A	I_0	A	I_0
1 632,91	5	13,33	59	0	98	0	96	0	55	21,34	28	0	28	8,89	28	0	28
3 717,37	6	13,33	136	0	333	0	372	0	230	21,34	63	0	63	8,89	63	0	63
4 247,46	7	13,33	110	0	432	0	555	0	407	21,34	92	0	92	8,89	92	0	92
6 953,10	8	13,33	117	0	417	0	628	0	540	21,34	204	0	117	8,89	117	0	117
10 321,96	9	13,33	138	0	325	0	605	0	611	21,34	340	0	138	8,89	138	0	138
13 088,02	10	13,33	153	0	189	0	505	0	615	21,34	454	0	153	8,89	153	0	153
14 932,06	11	13,33	163	0	163	0	351	0	556	21,34	530	0	289	8,89	163	0	163
15 489,54	12	13,33	166	0	166	0	166	0	442	21,34	553	0	442	8,89	166	0	166
16 603,38	13	13,33	163	0	163	0	163	0	289	21,34	530	0	556	8,89	351	0	163
16 217,30	14	13,33	153	0	153	0	153	0	153	21,34	454	0	615	8,89	505	0	189
14 473,59	15	13,33	138	0	138	0	138	0	138	21,34	340	0	611	8,89	605	0	325
11 495,89	16	13,33	117	0	117	0	117	0	117	21,34	204	0	540	8,89	628	0	417
8 363,53	17	13,33	110	0	92	0	92	0	92	21,34	92	0	407	8,89	555	0	432
6 464,38	18	13,33	136	0	63	0	63	0	63	21,34	63	0	230	8,89	372	0	333
2 935,02	19	13,33	59	0	28	0	28	0	28	21,34	28	13,33	55	8,89	92	0	98
max		13	163	163	163	163	163	289	530	530	556	351	163				

čas	$\tau =$ 13 hod
výška slunce nad obzorem	$h =$ 58 °
Sluneční azimut	$\alpha =$ 208 °
teplota venkovního vzduchu	$t_e =$ 28,1 °C
Pohyby slunce	
deklinace:	$\delta =$ 20,4
azimut pro svislou stěnu:	$\gamma_s =$ 0 °
azimut pro vodorovnou konstrukci:	$\gamma_v =$ 32 °
Intenzity sluneční radiace	
intenzita přímé sluneční radiace	$I_D =$ 780,79 W/m ²
Intenzita difúzní sluneční radiace	$I_d =$ 161,11 W/m ²

tepelná zátěž prosklenými plochami:	
okno	šířka: $b_{ok} =$ 0,75 m
	výška: $h_{ok} =$ 2,9 m
	plocha okna: $S_0 =$ 2,175 m ²
	součinitel prostupu tepla: $U_0 =$ 1,1 W/m ² · K
stínící faktory:	hloubka okna: $d =$ 0,120 m
	hl. okna vzhledem k horní stínící desce: $c =$ 0,120 m
	délky stínů: $e_1 =$ 0,064 m
	$e_2 =$ -0,217 m
	odstup od svislé (vodorovné) části okna: $f =$ 0,05 m
	$g =$ 0,05 m
	osluněná plocha: $S_{os} =$ 2,94 m ²
	tepelný zisk radiací: $Q_{or} =$ 547,89 W
	tepelný zisk konvekci: $Q_{ok} =$ 2,39 W
	tepelná zátěž okny celkem: $Q_o =$ 550,28 W

$c_0 =$ 0,85 ...velkoměstská oblast
 $s =$ 0,3 ...zdvojené reflexní sklo (dobrá jakost)

Tepelná zátěž vnějších stěn:	
stěna lehká:	součinitel prostupu tepla stěny: $U =$ W/m ² · K
	plocha stěny: $S =$ m ²
	Prostup tepla: $Q_s =$ 0,00 W/K
Stěna středně těžká:	součinitel prostupu tepla stěny: $U =$ 0,14 W/m ² · K
	plocha stěny: $S =$ 60,795 m ²
	tloušťka stěny: $d =$ 0,45 m
	zmenšení teplotního kolísání: $m =$ 0,1307222
	$\psi =$ 14 hod
	teplota vzduchu o ψ hod dříve: $t_{\psi} =$ 27,2 °C
	prům. teplota za 24 hodin: $t_{rm} =$ 26,2 °C
	Prostup tepla: $Q_s =$ -14,17 W/K
Stěna těžká:	součinitel prostupu tepla stěny: $U =$ 0,182 W/m ² · K
	plocha stěny: $S =$ 151,88 m ²
	prům. teplota za 24 hodin: $t_{rm} =$ 26,2 °C
	Prostup tepla: $Q_s =$ -49,76 W/K

...tabulka 13 (str.29) ČSN 73 0548

...tabulka 13 (str.29) ČSN 73 0548

Tepelná zátěž vnitřních stěn:			
místnost			
134	součinitel prostupu tepla stěny:	U =	0,948 W/m ² . K
	plocha stěny:	S =	13,095 m ²
	teplota sousední místnosti:	t _{is} =	28 °C
	Prostup tepla:	Q _S =	0,00 W/K
116 125	součinitel prostupu tepla stěny:	U =	0,948 W/m ² . K
	plocha stěny:	S =	20,601 m ²
	teplota sousední místnosti:	t _{is} =	24 °C
	Prostup tepla:	Q _S =	-78,12 W/K
121 122	součinitel prostupu tepla stěny:	U =	0,948 W/m ² . K
	plocha stěny:	S =	14,58 m ²
	teplota sousední místnosti:	t _{is} =	26 °C
	Prostup tepla:	Q _S =	-27,64 W/K
121 122	součinitel prostupu tepla stěny:	U =	1 W/m ² . K
	plocha stěny:	S =	3,2 m ²
	teplota sousední místnosti:	t _{is} =	26 °C
	Prostup tepla:	Q _S =	-6,40 W/K
celkem		Q _S =	-112,16 W/K

TEPELNÉ ZISKY OD VNITŘNÍCH ZDROJŮ TEPLA

Produkce tepla lidí	
návrhová vnitřní teplota:	t _i = 28 °C
počet lidí:	n = 40
citelné teplo:	Q _{cit} = 1 984,00 W

Produkce tepla svítidel	
intenzita osvětlení	I = 750 lx
produkce tepla	žárovky
	zářivky
plocha místnosti:	A = 160,17 m ²
tepelné zisky svítidel:	žárovky
	zářivky
	Q _{sv,z} = 0,00 W
	Q _{sv,z} = 1 601,70 W

Produkce tepla technologie	
výkon elektromotoru:	N = 1 kW
součinitel současnosti chodu motorů:	c ₁ = 0 -
součinitel při odsávání (bez odsávání c ₂ = 1):	c ₂ = 1 -
průměrné zatížení stroje:	c ₃ = 1 -
účinnost elektromotoru:	η _m = 76 -
Produkce tepla elektromotoru:	Q _m = 0,00 W

VODNÍ ZISKY:	
produkce vodní páry lidmi:	Q _L = 6 080,00 g/hod
produkce vodní páry odparem z vodní hladiny:	Q _W = 14 483,00 g/hod

PŘEHLED VYPOČTENÝCH HODNOT:

Tepelné zisky oken:	radiací	547,9	550,28	W
	konvekci	2,393		
Tepelné zisky vnějších stěn:			-63,92	W
Tepelné zisky vnitřních stěn:			-112,16	W
Tepelná produkce lidí:			1 984,00	W
Tepelná produkce svítidel:			1 601,70	W
Tepelná produkce technologie:			0,00	W
Vodní zisky:			20563,00	g/hod

5. MNOŽSTVÍ VZDUCHU A TLAKOVÉ POMĚRY

a. Množství vzduchu

- *Množství čerstvého vzduchu*

- *Na osoby* – $V_e' = y_{\min, \ell} \cdot n_{\ell}$

$y_{\min, \ell}$... podle typu činnosti návrh dávky vzduchu na osobu

n_{ℓ} ... počet osob

- *Na zařízení* – $V_e'' = \sum y_{\min, \text{zař}} \cdot n_{\text{zař}}$

$y_{\min, \text{zař}}$... podle typu zařízení návrh dávky vzduchu na zařízení

$n_{\text{zař}}$... počet zařízení

- *Na výměnu vzduchu* – $V_e''' = y_{\min, \text{vým}} \cdot O$

$y_{\min, \text{vým}}$... podle typu místnosti návrh násobek výměny vzduchu

O ... objem místnosti

- Návrhové množství čerstvého vzduchu $V_e = \max\{V_e'; V_e''; V_e'''\}$

- *Návrhový průtok vzduchu* $V_p = V_e$

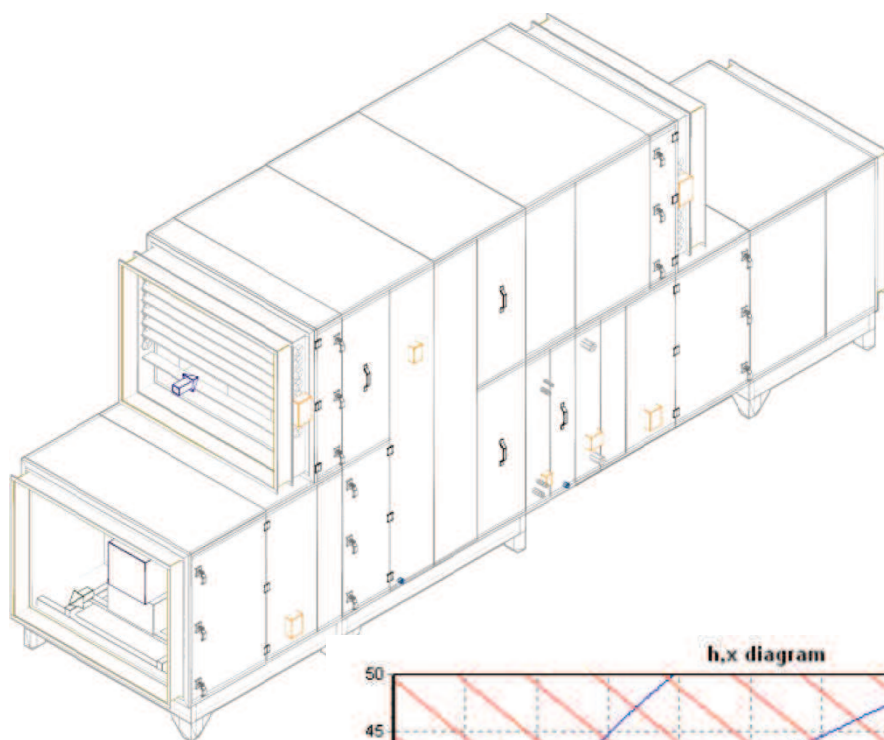
- *Množství odvodního vzduchu* $V_o = 0,8 \cdot V_p$

b. Tlakové poměry

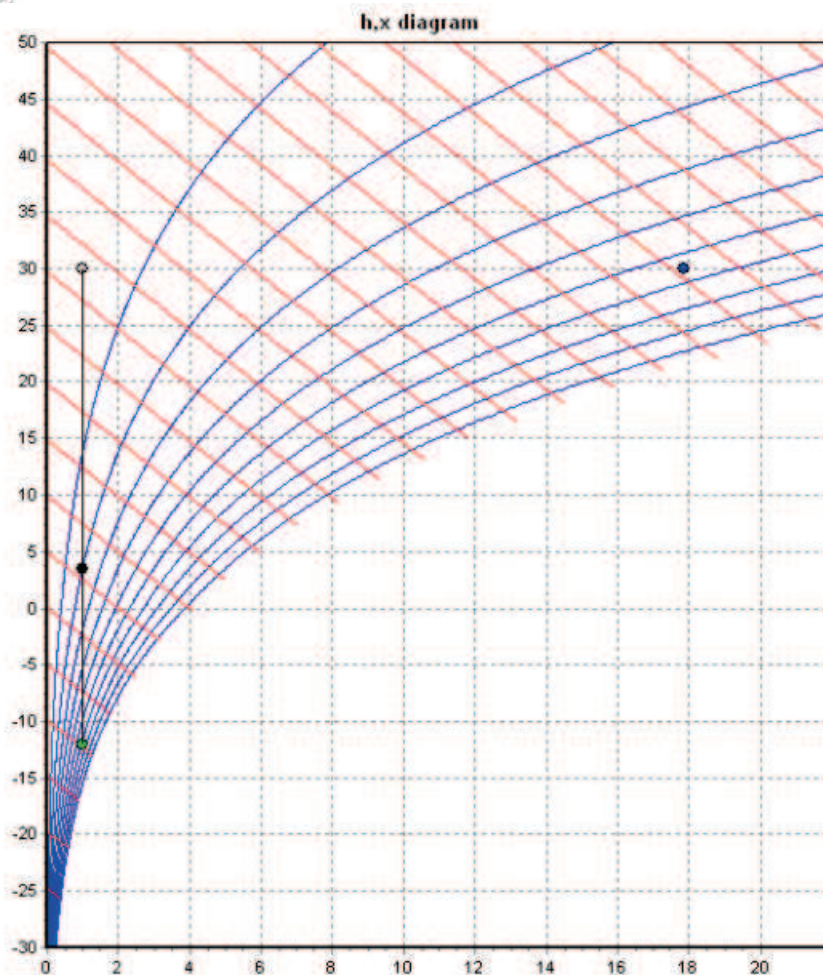
Tlakové poměry jsou již nastíněny ve vzorcích výpočtu. Hlavní prostory, které často užívány jsou v přetlaku oproti místnostem ostatním, kam je vzduch distribuován pomocí stěnových mřížek. Jedná se o místnosti, které naopak fungují v podtlakovém systému, jelikož se většinou jedná o hygienické zázemí nebo skladové prostory, prádelna a podobně, u kterých je riziko oděrového narušení pohody. Technické místnosti jsou uvažovány s větráním přirozeným.

6. NÁVRH VZT JEDNOTKY

Návrh jednotky pro nucené větrání bazénové haly bylo užito softwaru AeroCAD od firmy REMAK, kde byla sestavena jednotka z jednotlivých komponent.



Obrázek 42 - *Obrázek VZT jednotky a uprava vzduchu v zimním období*



7. DIMENZOVÁNÍ POTRUBÍ

PŘÍVODNÍ POTRUBÍ

teplota vzduchu $t_p = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$
 hustota vzduchu $\rho_p = 1,150\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
 kinematická viskozita $w = 1,49\text{E-}05\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$

u	V	L	v'	S	d'	A	B	d	v	R	ΔP_{PRV}	ξ	Z	$Z+R\times L+\Delta P_{PRV}$	ΔP_{DIS}
[-]	[m ³ /h]	[m]	[m/s]	[m ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1	300	1,75	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,2	0,7	0,027	6,8	6,8
2	600	1,21	3,1	0,054	261	200	250	-	3,3	0,5	0	0,4	0,016	0,6	7,4
3	900	1,21	3,2	0,078	315	250	250	-	4,0	0,4	0	0,9	0,024	0,5	7,9
4	1 200	1,21	3,3	0,101	358	315	250	-	4,2	0,4	0	1,4	0,034	0,5	8,4
5	1 500	1,21	3,4	0,122	394	315	315	-	4,2	0,3	0	0,9	0,022	0,4	8,8
6	1 800	0	3,5	0,142	425	355	315	-	4,5	0,3	0	1,1	0,024	0,0	8,8
7	2 100	1,21	3,6	0,161	452	355	355	-	4,6	0,2	0	0,4	0,008	0,3	9,1
8	2 400	1,21	3,7	0,179	477	355	400	-	4,7	0,2	0	0,2	0,004	0,2	9,3
9	2 700	1,21	3,8	0,195	499	400	400	-	4,7	0,3	0	0,5	0,010	0,4	9,7
10	3 000	4,32	3,9	0,211	519	450	400	-	4,6	0,4	0	0,2	0,004	1,7	11,4
11	3 300	1,21	4,0	0,226	537	500	400	-	4,6	0,4	0	0,2	0,004	0,5	11,9
12	3 600	1,21	4,2	0,241	554	560	400	-	4,5	0,4	0	0,6	0,013	0,5	12,4
13	3 900	1,21	4,3	0,254	569	560	450	-	4,3	0,4	0	0,6	0,014	0,5	12,9
14	4 200	1,55	4,4	0,267	584	560	500	-	4,2	0,4	0	0,6	0,015	0,6	13,5
15	4 800	1	4,5	0,299	616	560	560	-	4,3	0,4	0	0,6	0,014	0,4	13,9
16	5 400	1	4,6	0,328	646	560	630	-	4,3	0,4	0	0,6	0,014	0,4	14,4
17	6 000	1	4,7	0,356	674	560	710	-	4,2	0,4	0	0,6	0,015	0,4	14,8
18	6 600	1,95	4,8	0,383	699	560	800	-	4,1	0,4	0	0,6	0,015	0,8	15,6
19	12 600	1,35	4,9	0,716	955	800	900	-	4,9	0,4	0	0,6	0,011	0,6	16,1
20	13 200	1,25	5,0	0,735	967	800	900	-	5,1	0,4	0	0,6	0,010	0,5	16,6
21	15 000	41	5,2	0,801	1010	800	1000	-	5,2	0,3	2	1,2	0,019	14,3	30,9

A1	600	1,5	3	0,056	266	355	200	-	2,3	0,3	6,2	0,7	0,055	6,7	6,7
A2	1 200	1	3,3	0,103	361	355	250	-	3,8	0,3	0	0,2	0,006	0,3	7,0
A3	1 800	1	3,5	0,143	426	355	315	-	4,5	0,3	0	0,2	0,004	0,3	7,3
A4	2 400	1	3,8	0,178	476	355	400	-	4,7	0,3	0	0,2	0,004	0,3	7,6
A5	3 000	1	4,0	0,208	515	355	500	-	4,7	0,3	0	0,2	0,004	0,3	7,9
A6	3 600	1	4,3	0,235	547	355	630	-	4,5	0,3	0	0,2	0,004	0,3	8,2
A7	6 000	11	4,8	0,347	665	355	1000	-	4,7	0,5	1,2	0,4	0,008	6,7	13,4

2,2

B1	600	1,5	3	0,056	266	355	200	-	2,3	0,3	6,2	0,7	0,055	6,7	6,7
B2	1 200	1	3,3	0,103	361	355	250	-	3,8	0,3	0	0,2	0,006	0,3	7,0
B3	1 800	1	3,2	0,156	446	500	250	-	4,0	0,5	1,2	0,4	0,011	1,7	8,7

7,9

C1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0
----	-----	-----	---	-------	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-------	-----	-----

0,4

D1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0
----	-----	-----	---	-------	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-------	-----	-----

0,9

E1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0
----	-----	-----	---	-------	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-------	-----	-----

1,4

F1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0
----	-----	-----	---	-------	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-------	-----	-----

1,8

G1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0
----	-----	-----	---	-------	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-------	-----	-----

1,8

H1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0
----	-----	-----	---	-------	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-------	-----	-----

2,1

I1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0
----	-----	-----	---	-------	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-------	-----	-----

2,3

J1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0
----	-----	-----	---	-------	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-------	-----	-----

2,7

K1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0
----	-----	-----	---	-------	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-------	-----	-----

4,4

L1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0	4,9
M1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0	5,4
N1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0	5,9
O1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0	6,5
P1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0	7,0
Q1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0	7,4
R1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0	7,8
S1	300	1,5	3	0,028	188	100	250	-	3,3	0,3	6,5	0,7	0,027	7,0	7,0	9,1

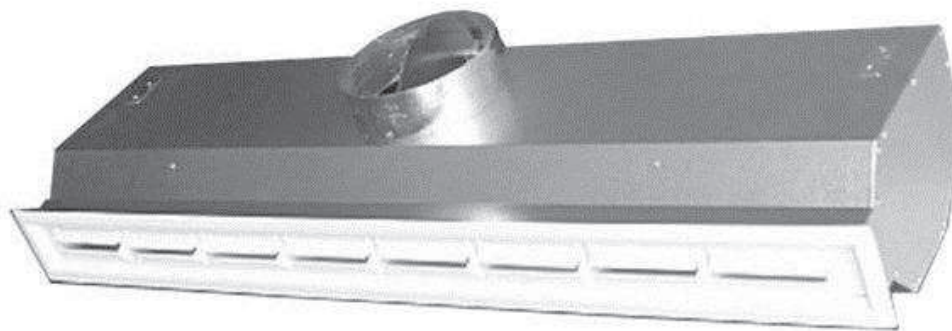
ODVODNÍ POTRUBÍ

teplota vzduchu	$t_p =$	28 °C
hustota vzduchu	$\rho_p =$	1,157 kg·m ⁻³
kinematická viskozita	$w =$	1,54E-05 m ² ·s ⁻¹

u	V	L	v'	S	d'	A	B	d	v	R	ΔP_{PRV}	ξ	Z	$Z+R \times L + \Delta P_{PRV}$	ΔP_{DIS}
[-]	[m ³ / h]	[m]	[m/s]	[m ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
I	12 000	33	5	0,667	921	800	800	-	5,2	0,4	39	0,2	0,003	52,2	52,2

8. DISTRIBUČNÍ ELEMENTY

Jako hlavní distribuční prvek bazénové haly byla zvolena štěrbinová výústka, jež byla i předmětem numerické simulace v kapitole F této diplomové práce. Navržené výústky jsou velkovýrobce nejrůznějších distribučních elementů VKV PARDUBICE s.r.o.



Obrázek 43 - Štěrbinová výústka

9. TECHNICKÁ ZPRÁVA

1. ÚVOD

Předmětem řešení projektu pro povolení stavby je nucené větrání a klimatizace v objektu hotelu ***** s wellness zařízením v Brně - Bystrci na ulici Hrázní 4a tak, aby byla zajištěna pohoda prostředí a současně byly zajištěny předepsané hodnoty hygienického množství čerstvého vzduchu.

I. PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ

Podkladem pro zpracování realizační dokumentace jsou půdorysy, řezy a pohledy stavební části objektu v měřítku 1:100.

II. VÝPOČTOVÉ HODNOTY KLIMATICKÝCH POMĚRŮ

místo: Brno, Česká republika

nadmořská výška: 250 m.n.m.

normální tlak vzduchu: 98,5 kPa

výpočtová teplota vzduchu

- léto + 29 °C

- zima - 12 °C

entalpie

- léto 56,2 kJ kg⁻¹ s.v.

- zima - 9,2 kJ kg⁻¹ s.v.

2. ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

I. POUŽITÉ NORMY A PŘEDPISY PRO NÁVRH

Návrh větrání bude zabezpečovat nucenou výměnu vzduchu v provozních, provozně-technických místnostech a v místnostech hygienického vybavení v souladu s příslušnými hygienickými, zdravotnickými, bezpečnostními, protipožárními předpisy a normami platnými na území České republiky, přitom implicitní hodnoty údajů ve výpočtech dále uvažovaných, jakož i předmětné výpočtové metody jsou převzaty zejména z obecně závazných předpisů a norem:

- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci (včetně novely č.68/2010 Sb.)
- Nařízení vlády č.148/2006 Sb., ze dne 15.3.2006 O ochraně před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Vyhláška č.137/2004 Sb. O hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných se změnami 602/2006 Sb.
- Vyhláška č.6/2003 Sb., ze dne 16.12.2002, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb
- Vyhláška č.246/2001 Sb. O požární prevenci
- Vyhláška č.499/2006 Sb. O dokumentaci staveb
- ČSN 73 0548 - Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů (1986)
- ČSN 73 0542 – Tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí (2002)
- ČSN 12 7010 - Navrhování větracích a klimatizačních zařízení (1988)
- ČSN 73 0802 - Požární bezpečnost staveb (05/2009)
- ČSN 73 0872 - Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením (01/1996)
- ČSN EN ISO 7730 Mírné tepelné prostředí - Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody, 1997
- Prof. Chyský, prof. Hemzal Větrání a klimatizace - technický průvodce 1993

II. ZÁKLADNÍ PRINCIPY NÁVRHU

Základní principy návrhu projektového řešení jsou přijaty následující podmínky:

- Hygienické větrání bude navrženo v úrovni nejméně hygienického minima $50 \text{ m}^3/\text{h}$ (respektive $60 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu - kuřáka) ve smyslu obecně závazných předpisů.
- přetlakové a tlakově vyrovnané větrání je navrženo v místnostech, u kterých není žádoucí přísávání vzduchu z okolních místností
- podtlakové větrání je navrženo ve všech místnostech hygienického vybavení objektu (WC, umývárny apod.)
- řízené odvlhčování v letním období je uvažováno ve VZT jednotkách pro větrání objektu (zař. 1 a 2 s předchlazením čerstvého vzduchu)
- řízení vlhkosti vzduchu v zimním období je taktéž uvažováno u VZT zařízení pro větrání prostorů nesloužící jako technická místnost nebo hygienické zázemí
- třída a počet stupňů filtrace přiváděného vzduchu je určena dle požadavků řešených prostor min. však stupeň filtrace B (EU4), pro větrání pokojů je navržena třída filtrace EU 5, což odpovídá podle EN 1822 jemné třídě odlučivosti
- nejvyšší přípustná maximální hladina vnitřního hluku $L_{A,max,p} = 60 \text{ dB(A)}$
- dle různých funkčních celků jsou některé místnosti v přetlaku oproti místnostem sousedním, celý objekt pracuje v mírném přetlaku 20%
- Technologické větrání bude osazeno v místnostech technického vybavení objektu (např. strojovny, kotelny, UPS stanice apod.), ve kterých to vyžadují technologické předpisy a bude zabezpečovat zejména odvod škodlivin, odérů a technologické tepelné zátěže a přívod spalovacího vzduchu.

III. VÝPOČTOVÉ HODNOTY VNITŘNÍHO MIKROKLIMATU

- teplotní hodnoty dlouhodobě únosného mikroklimatu v prostorech jsou stanoveny dle hygienických předpisů a mají hodnoty:

Bazénová hala:	Návrhová teplota vody	28 °C
	Návrhová teplota vzduchu	30 °C
	Relativní vlhkost	max. 65 %
	Rychlost proudění	max. 0,2 m/s
	Max. intenzita výměny	8 až 12 h ⁻¹
Zbylé wellness:	Návrhová teplota vzduchu	24 °C
	Relativní vlhkost	50 %
	Max. intenzita výměny	2 h ⁻¹
Technické místnosti:	intenzita výměny	0,5 h ⁻¹
Hygienické místnosti:	WC	50 m ³ /h
	pisár	25 m ³ /h
	umyvadlo	30 m ³ /h
	sprchy	150 m ³ /h

ENERGETICKÉ ZDROJE

Tepelná energie, chladicí energie

Pro ohřev vzduchu v tepelných výměnících VZT a KLM jednotek je uvažováno vodním ohřevem, topná voda má rozsah pracovních teplot $t_{w1}/t_{w2} = 90/70^{\circ}\text{C}$. Pro chlazení vzduchu ve výměnících KLM je použito chladicí médium voda s rozsahem pracovních teplot $t_{w1}/t_{w2} = 6/12^{\circ}\text{C}$ centrálně připravovaná ve zdroji chladu. Pro chlazení split chladících zařízení je použito chladicí médium R410A pro split zařízení vykrývající tepelné zisky v obytných místnostech.

V zimním období je přírodní vzduch pro wellness vlhčený. Zdrojem páry jsou elektrické parní vyvíječe s napájením 400V.

Elektrická energie

Elektrická energie je uvažována pro pohon elektromotorů VZT a KLM zařízení, kompresorů zdroje chladu a pro systémy automatické regulace. Dále pro parní vyvíječe a split zařízení.

3. POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

I. KONCEPCE KLIMATIZAČNÍCH A VĚTRACÍCH ZAŘÍZENÍ

Návrh klimatizace a větrání předmětných prostor vychází ze stavební dispozice a požadavků na pohodu prostředí v jednotlivých prostorech zadaných uživatelem. V zásadě je KLM a VZT zařízení použito pro veškeré prostory. Při návrhu bylo důsledně dbáno, aby prostory s odlišnými provozními podmínkami byly od sebe odděleny i po stránce vzduchotechniky. Jelikož se jedná o stavbu energeticky náročnou, je v tomto projektu ve všech případech, proto je navrženo využití odpadního tepla rekuperací (v deskových a rotačních rekuperátorech) a cirkulací vzduchu (ve směšovacích komorách jednotek). Vzduchotechnické a klimatizační jednotky jsou umístěny v suterénu objektu, ve strojovnách v 1.PP. Vzduchotechnické jednotky zajišťují u jednotlivých zařízení - klimatizaci a větrání. Teplovzdušné vytápění je v objektu navrženo pouze pro případ bazénové haly s vířivkou.

Transport a distribuce vzduchu je navržena čtyřhranným potrubím z pozinkovaného plechu skupiny I a kruhovým potrubím SPIRO z pozinkovaného plechu. Pro rozvod vzduchu se počítá s nízkotlakým systémem. Revizní otvory budou namontovány ve všech přívodních a odvodních potrubích trasách tak, aby potrubí bylo čistitelné minimálně u každé změny potrubí o 90°. Materiál revizní otvorů je stejný jako potrubí.

II. POPIS JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ

Nucené větrání bazénové haly s vířivkou

Systém nuceného větrání pracuje ve 20 % přetlaku. Množství vzduchu je potřebným množstvím pro dostatečné odvlhčení od vnitřních vodních zisků. Uvažuje se s provozem výhradně přes otopné období, kdy bude bazénová hala uzavřena a je jí třeba větrat. V letních měsících bude velká prosklená část, jež spojuje halu s terasou, odňata a interiér haly se bude

větrat přirozenou cestou. V zimním období, kdy bude nucené větrání aktivní, se přivádí čerstvý vzduch o teplotě $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, tedy $\Delta t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tepelné ztráty zajišťuje profese vytápění.

Jednotka je umístěna v místnosti 003 označené jako technologie bazénu. Schéma jednotky je na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

Nucené větrání ploch v 1.NP

Systém nuceného větrání je navržen jako přetlakový. Prostory šaten, chodby, sklady, přípravný a další jsou tímto zařízením větrány na maximální hodnotu vždy počítanou na násobek výměny vzduchu v místnosti, počet osob v místnosti nebo počet zařizovacích předmětů v místnosti.

Jednotka Remak je koncipována v provedení nad sebou a je osazena do strojovny VZT místnost č.006. Přívodní část obsahuje tlumící vložku, filtr, deskový rekuperátor, ohřívač, chladič a eliminátor klapky, ventilátor, tlumič hluku a koncovou tlumící vložku. Část odvodní obsahuje tlumící vložku, filtr, ventilátor, tlumič hluku, deskový rekuperátor a koncovou tlumící vložku. Na přívodním i odvodním potrubí bude osazeno tlumení hluku.

Chlazení pobytových místností

Do pobytových místností byly navrženy split jednotky firmy Carrier, s.r.o. Tyto pokrývají tepelné zisky z venkovního prostředí či z okolních místností. Jedná se o kanálové jednotky umístěné v podhledu chodbičky jednotlivých pokojů. Tyto modely se pyšní energetickou třídou A pro chlazení i pro vytápění a úroveň akustického výkonu dosahuje hodnot kolem 40dB(A). Kondenzační jednotky jsou umístěné na střeše.

4. MĚŘENÍ A REGULACE

Navržené vzduchotechnické a klimatizační jednotky ve vnitřním prostředí budovy budou řízeny a regulovány samostatným systémem měření a regulace, který zajišťuje tyto typické funkce:

- ovládání jednotlivých zařízení
- regulace teploty vzduchu řízením výkonu teplovodních a elektrických ohřivačů v zimním období
- regulace teploty vzduchu řízením výkonu vodních chladičů v letním období
- regulace směšovacího režimu větrání čidlem kvality vzduchu
- optimální ovládání prvků ZZT
- ovládání regulačních klapek na jednotce
- protimrazová ochrana teplovodního výměníku – měření na straně vzduchu i vody
- Při poklesnutí teploty:
 1. vypnutí ventilátoru
 2. uzavření klapek
 3. otevření třicestného ventilu
 4. spuštění čerpadla
- signalizace bezporuchového chodu zařízení
- signalizace zanesení filtrů pomocí diferenčního snímače tlaku
- poruchová signalizace
- napájení, ovládání a signalizace požárních klapek
- signalizace chodu a poruchového stavu zdroje chladu
- připojení systémů regulace na řídící centralizované stanoviště

Profese MaR bude zajišťovat ovládání jednotlivých zařízení dle jejich specifických potřeb a provozu. Vzduchotechnické jednotky ve venkovním provedení jsou vybaveny profesí VZT lokálním systémem měření a regulace vč. všech čidel a pohonů, který zajišťuje rovnocenné funkce jako výše zmíněná centrální MaR (čidla CO₂ dodává MaR). Lokální systém MaR umožňuje komunikaci přes otevřený komunikační protokol LON/Backnet s centrálním systémem MaR. Před objednáním VZT jednotek bude konkrétní typ komunikačního modulu potvrzen investorem. Profese MaR zajistí zprovoznění komunikace lokálního systému MaR s centrálním systémem MaR.

5. NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE

I. SILNOPROUD:

- zapojení elektromotorů jednotek, zdroje chladu přes deblokační skříně
- zapojení vnitřních jednotek a odsávacích ventilátorů
- případné ovládání vybraných zařízení (konzultace s profesí MaR)
- topné kabely pro zajištění protimrazové ochrany u chladících split zařízení

II. ÚT:

- připojení VZT jednotek a teplovodních clon
- dodání směšovacích uzlů u teplovodních ohříváčů, včetně armatur, čerpadel u jednotek ve vnitřním provedení
- zajištění funkčního zdroje topné vody (výměňíkové stanice)

III. CHLAZENÍ

- připojení VZT jednotek 6/12°C
- připojovací sestavu armatur u zdrojů chladu
- zajistí funkční strojovnu chlazení a rozvody chladu
- zajištění rezerv pro jednotky na střeše objektu

IV. ZTI:

- odvod kondenzátu od VZT jednotek (sifony jsou dodávkou VZT)
- odvod kondenzátu od vnitřních jednotek split (ZTI zajistí dodávku vč. sifonů)
- osazení podlahových vpustí ve strojovnách VZT, ve kterých jsou dopojeny výměníky na topnou nebo chladnou vodu
- osazení výtokových armatur ve strojovnách VZT

6. PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ

Do vzduchovodů procházejících stavební konstrukcí ohraničující určitý požární úsek budou vřazeny protipožární klapky, zabraňující v případě požáru v některém požárním úseku

jeho šíření do dalších úseků nebo na celý objekt. V případech, kdy nebude protipožární klapku možno osadit do požárně dělící konstrukce, bude potrubí mezi touto konstrukcí a protipožární klapkou doizolováno izolací s požadovanou dobou odolnosti. Požární klapky budou ovládány elektromagnety na 230V/50Hz. Jsou vybaveny koncovým spínačem „zavřeno“, ručním a teplotním ovládáním.

Tam, kde bude narušena požárně dělící konstrukce z důvodu prostupu VZT zařízení, je nutno otvor zapravit požárními ucpávkami.

7. PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ

V projektu tohoto provozního souboru je důsledně dbáno na ochranu proti šíření hluku a vibrací. V rámci tohoto projektu jsou navržena následující opatření:

Do rozvodných tras potrubí jsou navrženy tlumiče hluku, které zabrání nadměrnému šíření hluku od ventilátorů jednotek i z prostorů strojovny do větraných místností. Tyto tlumiče jsou osazeny jak v přívodních, tak odvodních trasách vzduchovodů a jsou doizolovány.

Veškeré točivé stroje jsou pružně uloženy za účelem zmenšení vibrací přenášejících se stavebními konstrukcemi. Ventilátory v komorách jednotek jsou uloženy na gumových silentblocích.

Veškeré vzduchovody jsou napojeny na VZT jednotky přes tlumicí vložky, které zabraňují přenosu chvění do potrubního rozvodu a tím i do stavební konstrukce, na které jsou rozvody zavěšeny. Potrubí je na závěsech podloženo tlumicí gumou.

Všechny prostupy VZT potrubí stavebními konstrukcemi budou obloženy a dotěsněny izolací (např. Fibrex).

8. IZOLACE A NÁTĚRY

I. IZOLACE

Jsou navrženy izolace hlukové, požární a tepelné. Hlukově jsou izolovány vzduchovody od klimatizačních jednotek a ventilátorů po tlumiče hluku včetně. Požární

izolace je navržena tam, kde není možno osadit protipožární klapky do požárně dělící konstrukce. Tepelně bude izolováno potrubí v tomto rozsahu:

- přívodní i odvodní potrubí, v trasách vedoucích v externím prostředí s výjimkou nasávacího potrubí čerstvého vzduchu od sání po VZT jednotku
- přívodní potrubí v rozsahu od jednotek po nápojná místa v jednotlivých prostorech
- odvodní potrubí vedoucí v interiéru mimo větraný prostor, pokud je VZT zařízení vybaveno rekuperací

Všechna izolace hluková, tepelná i požární vedoucí v exteriéru bude ve venkovním provedení.

Parametry materiálů izolací:

Tepelné

- šířka izolace 40mm vnitřní prostředí souč. tepelné vodivosti 0,037W/m. (vč.Al folie)
- šířka izolace 100mm ve venkovním prostředí souč. tepelné vodivosti 0,037W/m.K (vč.krycího pozink. plechu) pro omezení tepelných ztrát
- šířka izolace 40mm ve venkovním prostředí souč. tepelné vodivosti 0,037W/m.K (vč.krycího pozink. plechu) pro zabránění kondenzace

Hlukové

- šířka izolace 60mm souč. zvukové pohltivosti 0,81

Požární

- požární odolnost 15, 30, 45 minut

II. NÁTĚRY

Nátěry budou provedeny u zařízení:

- klimatizační, větrací, odsávací jednotky - základní povrchová úprava od výrobce
- ventilátory - základní povrchová úprava od výrobce

- základní povrchová úprava jako ochrana před povětrnostními vlivy u částí systému ve venkovním prostředí
- RAL dle požadavku architekta u protidešťových žaluzií osazených ve stěnách domečků a v protihlukové stěně

9. ÚDRŽBA ZAŘÍZENÍ

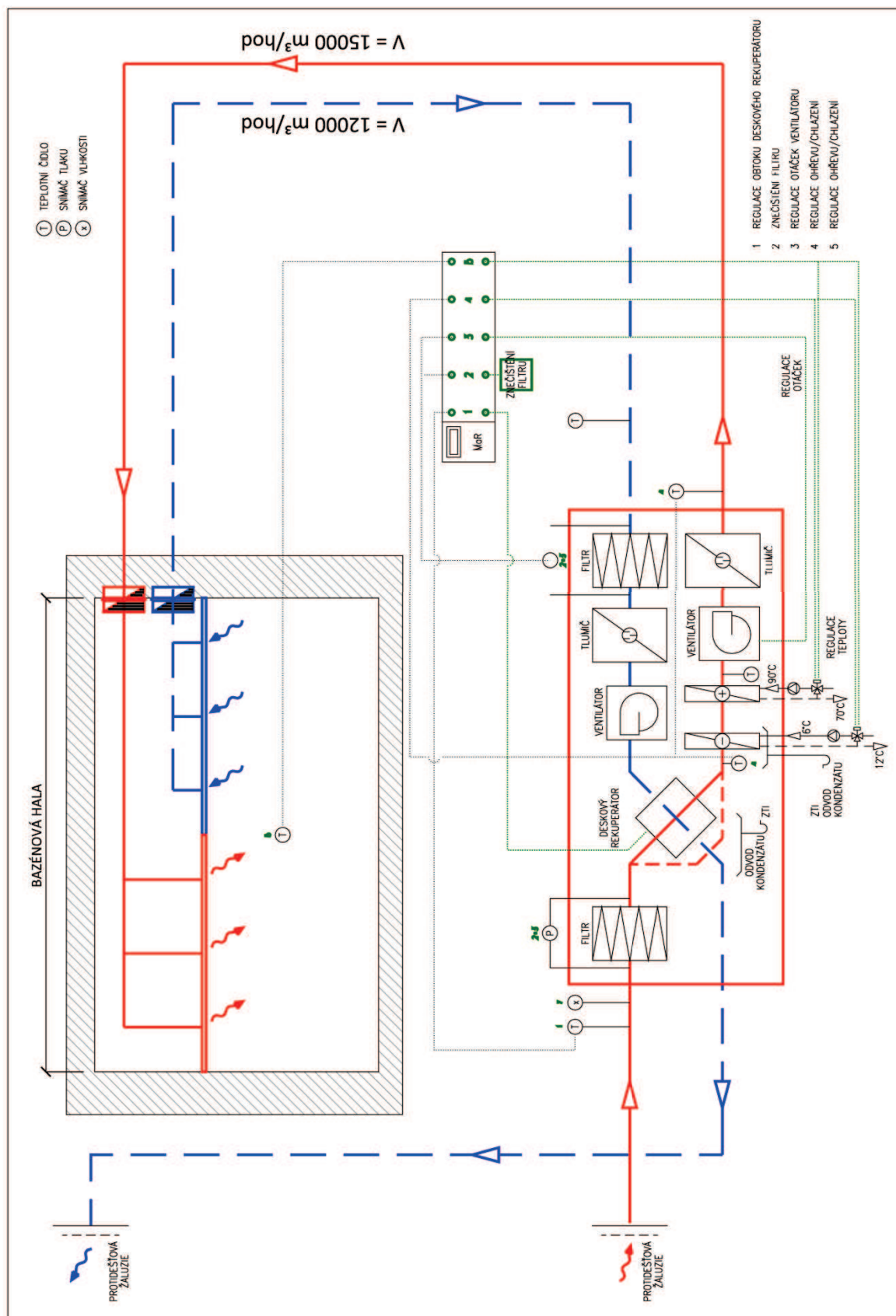
Důležitou součástí provozování VZT zařízení je soustavná preventivní údržba podle předem stanoveného cyklu oprav, který doporučuje výrobce jednotlivých prvků zařízení. K současnému sledování provozu a všeobecné kontrole je účelné vést provozní deník. Do něho jsou zapisovány údaje denních kontrol, zjištěné závady, provedené opravy, výměna provozních dílů a provozních hmot. Pokud nemá provozovatel k dispozici kvalifikované pracovníky údržby, je možné sjednat údržbu zařízení dohodou s profesionální servisní službou.

10. BEZPEČNOST PRÁCE

Při uvedení zařízení VZT do provozu musí být specifikovány podmínky z hlediska dodržení bezpečnosti práce.

1. Zakrytování všech rotujících částí strojů VZT.
2. Dodržení všech dotčených montážních a provozních předpisů a norem.
3. Ochrana všech VZT zařízení uzemněním (vodivé spojení elementů VZT).
4. Zákaz vstupu do strojovny VZT nepovolaným osobám.
5. Zaregulování zařízení po individuálních zkouškách na chod jednotlivých strojů s vyhotovením závěrečného protokolu.
6. Pro obsluhu VZT zařízení vyškolit pracovníka údržbáře.
7. Vypracovat provozní řád, který bude umístěn v prostoru spouštění zařízení a ve strojovně VZT.

11. REGULAČNÍ SCHÉMA



I. ZÁVĚR

Pomocí CFD simulací byla ze tří zvolených variant distribuce čerstvého vzduchu v bazénové hale s vířivou masážní vanou vybrána verze nejvhodnější. Rozhodnutí bylo podle tří předem určených kritérií. Tato varianta byla následně rozpracována v projektové části pro stavební povolení. V experimentální části se povedlo vytvořit nový vztah popisující odpar z volné vodní hladiny v mezní vrstvě a porovnat jej s ostatními algoritmy.

J. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GEBAUER, Günter; RUBINOVÁ, Olga; HORKÁ, Helena. *Vzduchotechnika*. Brno: ERA group, spol. s r.o., 2007. 262 s.
- [2] PODĚBRADSKÝ, Jiří. *Wellness v ČR*. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2008. 128 s. Dostupné z: www.wellnessnoviny.cz/file/1730/wellness-v-cr.pdf
- [3] ČR. O stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch. In: *vyhl. 238/2011 Sb.* 2011. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-238-2011-sb-o-stanoveni-hygienickych-pozadavku-na-koupaliste-sauny-a-hygienicke-limity-pisku-v-piskovistich-venkovnich-hracich-ploch>
- [4] ČSN 73 0548 : Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Praha : Český normalizační institut, 1986. 32 s.
- [5] 16. ANSYS FEM Users' Meeting & 14. ANSYS CFD Users' Meeting. *SIMULACE AERODYNAMIKY KOLEJOVÝCH VOZIDEL*. 2008, č. 1, s. 10. Dostupné z: http://www.ansys.stuba.sk/ANSYS2008/prednasky/TechSoft%20Eng/Aerodynamika,Turbostroje%20a%20dopravni%20technika/B2_Schuster_Simulace_aerodynamiky_kolejovych_vozidel.pdf
- [6] ŠIKULA, Ondřej. *Počítačové modelování tepelně aktivovaných konstrukcí*. Brno, 2011. ISBN 978-80-214-4308-2; ISSN 1213-4198. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [7] BOJKO, Marian. *Návody do cvičení „Modelování proudění“ - FLUENT*. Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1909-9. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/Bojko-Fluent.pdf>. Skriptum. VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA.
- [8] KOZUBKOVÁ, Milada. *Modelování proudění tekutin: FLUENT, CFX*. Ostrava, 2008. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/Kozubkova-Fluent.pdf>. Skriptum. Vysoká škola Báňská - Technická univerzita.
- [9] ČSN EN ISO 7730 Mírné tepelné prostředí - Stanovení ukazatelů PMV a PPD a popis podmínek tepelné pohody, 1997
- [10] ČSN EN 12831 : Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. Praha : Český normalizační institut, 2005. 76 s.

- [11] ČSN 730540-3 : Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Praha : Český normalizační institut, 2005. 96 s.
- [12] Székyová, M., Ferstl, K. a Nový, R. *Větrání a klimatizace*. 1. české vyd. Bratislava: JAGA, 2006. 359 s. ISBN 80-8076-037-3
- [13] VKV PARDUBICE s.r.o., firemní podklady. Dostupné z WWW: <<http://www.vkv-pardubice.cz/>>.

K. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Wellness vybavení (vířivka, bazén)	7
Obrázek 2 - Obraz proudu kruhového a kruhového kompaktního tvaru	10
Obrázek 3 - Obraz proudu plochého tvaru	10
Obrázek 4 - Obraz proudu radiálního tvaru	11
Obrázek 5 - Schéma volného izotermního proudu	12
Obrázek 6 - Vliv rozdílu teplot na zakřivení proudu	13
Obrázek 7 - Volné neizotermní proudění	14
Obrázek 8 - Faktory a veličiny tepelně-vlhkostního mikroklimatu	15
Obrázek 9 - Diagram h-x podle Molliera	24
Obrázek 10 - Schéma regulace rychlosti přívodního vzduchu	33
Obrázek 11 – Difuzor	34
Obrázek 12 - Datalogger ALMEMO 3290-8	36
Obrázek 13 - Váha RADWAG WLY 6/12/C1/K	36
Obrázek 14 - Model - popis částí	37
Obrázek 15 - Fotografie sestaveného modelu	38
Obrázek 16 – Situace	61
Obrázek 17 - Půdorys bazénové haly	62
Obrázek 18 - Stručná charakteristika programu Gambit	63
Obrázek 19 - Alternativa I. - geometrie	66
Obrázek 20 - Tvary konečného objemu	68
Obrázek 21 - FLUENT - definice operačního tlaku a gravitačního zrychlení	69
Obrázek 22 - FLUENT - definice okrajové podmínky přívodního vzduchu – směr a množství	70
Obrázek 23 - FLUENT - definice okrajové podmínky vodní plochy bazénu – teplota	71
Obrázek 24 - FLUENT - definice okrajové podmínky ohraničujících konstrukcí	72
Obrázek 25 - FLUENT - průběh residuí jednotlivých veličin	73
Obrázek 26 - Alternativa I. - obraz průběhu teplot v pobytové zóně	74
Obrázek 27 - Alternativa I. - obraz průběhu rychlosti v pobytové zóně	75
Obrázek 28 - Alternativa I. - obraz trajektorií rychlostních proudnic	75
Obrázek 29 - Alternativa II. – geometrie	76
Obrázek 30 - Alternativa II. - obraz průběhu teplot v pobytové zóně	77

Obrázek 31 - Alternativa II. - obraz průběhu rychlosti v pobytové zóně.....	78
Obrázek 32 - Alternativa II. - obraz průběhu rychlosti ve výšce 0,6m.....	78
Obrázek 33 - Alternativa III. - geometrie.....	79
Obrázek 34 - Alternativa III. - obraz průběhu teplot v pobytové zóně.....	80
cacscfbbfbhnhndfgdfgsg Obrázek 35 - Alternativa III. - obraz průběhu teplot po celé výšce .	81
Obrázek 36 - Alternativa III. - obraz průběhu rychlosti v pobytové zóně.....	81
Obrázek 37 - Alternativa III. - obraz průběhu rychlosti ve výšce 0,6m.....	82
Obrázek 38 - Rozložení středních radiačních teplot v referenční rovině 1,7m alternativy II.	87
Obrázek 39 – Obraz rozvržení rychlostí v mezní vrstvě nad vodní hladinou bazénu	91
Obrázek 40 - Obraz rozvržení teplot v mezní vrstvě nad vodní hladinou bazénu.....	92
Obrázek 41 - Půdorys bazénové haly s označením skladeb	93
Obrázek 42 - Obrazek VZT jednotky a uprava vzduchu v zimním období	106
Obrázek 43 - Štěrbínová vyústka.....	108

L. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Podíly složek mikroklimatu.....	29
Graf 2 - Měření č. 01 - Průběh měřených veličin.....	40
Graf 3 - Měření č. 02 - Průběh měřených veličin.....	41
Graf 4 - Měření č. 03 - Průběh měřených hodnot	42
Graf 5 - Měření č. 04 - Průběh měřených hodnot	43
Graf 6 - Měření č. 05 - Průběh měřených hodnot	44
Graf 7 - Srovnání měření s aproximační formulí	48
Graf 8 - Závislost hmotnostního toku na rychlosti a rozdílu parciálních tlaků	49
Graf 9 - Srovnání měření s VDI 2089 (starší vydání).....	50
Graf 10 - Srovnání měření s VDI 2089 (nové vydání).....	52
Graf 11 - Srovnání měření s empirickým vztahem (Szekyová, Ferstl, Nový)	53
Graf 12 – Histogram relativních četností teplot v referenční rovině 1,7m	83
Graf 13 - Histogram relativních četností rychlostí v referenční rovině 1,7m	85
Graf 14 - Histogram relativních četností rychlostí v referenční rovině 0,6m	86
Graf 15 - Histogram relativních četností indexu PPD v referenční rovině 1,7m	89
Graf 16 - Histogram relativních četností indexu PPD v referenční rovině 0,6m	90

M. SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1 - Archimedovo kritérium.....	13
Rovnice 2 - Daltonův zákon	16
Rovnice 3 - Měrná vlhkost vzduchu x	18
Rovnice 4 - Relativní vlhkost φ	19
Rovnice 5 - Teplota rosného bodu t_r	19
Rovnice 6 - Teplota mokrého teploměru t_m	20
Rovnice 7 - Měrná entalpie h vlhkého vzduchu	21
Rovnice 8 - Měrná entalpie h přesyceného vzduchu	22
Rovnice 9 - Parciální tlak syté páry p_p''	22
Rovnice 10 - Parciální tlak syté páry p_p'' - Hyland & Wexler	23
Rovnice 11 - Hmotnostní tok odpařené vody.....	25
Rovnice 12 - Rovnice tepelné rovnováhy člověka s okolím.....	26
Rovnice 13 - Obecný tvar rovnice množství hmotnostního toku popisující nucenou konvekci.....	45
Rovnice 14 - Aproximovaná rovnice množství odpařené vodní páry.....	47
Rovnice 15 - Rovnice přenosu hmoty dle VDI 2089 (starší vydání).....	49
Rovnice 16 - Rovnice přenosu hmoty dle VDI 2089 (nové vydání)	51
Rovnice 17 - Empirický vztah odpařování z klidné hladiny.....	52
Rovnice 18 - Rovnice kontinuity	55
Rovnice 19 - Navier-Stokesovy rovnice	56
Rovnice 20 - Zákon zachování objemové hustoty tepelného výkonu	57
Rovnice 21 - Turbulentní viskozita μ_t	57
Rovnice 22 - Turbulentní kinetická energie.....	58
Rovnice 23 - Rychlost disipace turbulentní kinetické energie.....	58
Rovnice 24 - Pohybové rovnice nestlačitelné a turbulentně pohybující se tekutiny	58
Rovnice 25 - Newtonův ochlazovací zákon	59
Rovnice 26 - Výpočet součinitele přestupu tepla α	59
Rovnice 27 - Nusseltovo číslo	60
Rovnice 28 - Výpočet součinitele prostupu tepla U	94

N. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Základní veličiny vlhkého vzduchu.....	17
Tabulka 2 - Produkce vodní páry lidmi	28
Tabulka 3 - Mikroklimatické požadavky, osvětlení a vnitřní ovzduší bazénové haly krytého bazénu a jeho přilehlých prostor	31
Tabulka 4 - Hodnoty součinitele přenosu hmoty ε	50
Tabulka 5 - Hodnoty součinitele přenosu hmoty β	51
Tabulka 6 - Porovnání metod výpočtu množství odpařené množství vody	53

Tabulka 7 - FLUENT - definice okrajové podmínky vodní plochy – teplota a měrná vlhkost	70
Tabulka 8 - Porovnání rozložení teploty v referenční rovině 1,7m	83
Tabulka 9 - Procentuální výskyt rychlostí v referenční rovině 1,7m	84
Tabulka 10 - Procentuální výskyt rychlostí v referenční rovině 0,6m	86
Tabulka 11 - Procentuální výskyt indexu PPD v referenční rovině 1,7m	88
Tabulka 12 - Výpis skladeb konstrukcí.....	95
Tabulka 13 - Tepelné ztráty místnosti	98
Tabulka 14 - Tepelná zátěž místnosti	103

O. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

značka	Popis veličiny	Jednotka
A	<i>amplituda kolísání teplot venkovního vzduchu</i>	K
A_k	<i>plocha stavební konstrukce</i>	m^2
A_m	<i>podlahová plocha místnosti</i>	m^2
b_u	<i>teplotní korekční činitel</i>	-
c	<i>měrná tepelná kapacita</i>	J/kg.K
c	<i>hloubka okna vzhledem k horní stínící desce</i>	m
c_1	<i>součinitel současnosti používání svítidel</i>	-
c_2	<i>zbytkový součinitel</i>	-
c_o	<i>korekce na čistotu atmosféry</i>	-
d	<i>hloubka okna</i>	m
d'	<i>tloušťka (vrstvy, konstrukce)</i>	m
e, e_k	<i>korekční součinitel vystavení povětrnostním vlivům</i>	-
e_1	<i>svislý stín</i>	m
e_2	<i>vodorovný stín</i>	m
$e_{i,k}$	<i>stínící činitel</i>	-
f	<i>kmitočet (frekvence)</i>	Hz
f, g	<i>odstup od svislé a vodorovné části okna od slunolamů</i>	m
f_{g1}	<i>korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty</i>	-
f_{g2}	<i>teplotní redukční činitel</i>	-
G_w	<i>korekční činitel zohledňující vliv spodních vod</i>	-
h	<i>výška slunce nad obzorem</i>	°
H	<i>nadmořská výška</i>	km
h	<i>entalpie</i>	kJ/kg
$H_{T,ie}$	<i>měrná ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budovy</i>	W/K
$H_{T,ig}$	<i>měrná ztráta do zeminy z vytápěného prostoru</i>	W/K
$H_{T,ij}$	<i>měrná ztráta z vytápěného prostoru do sousedních prostor vytápěných na rozdílnou teplotu</i>	W/K
$H_{T,iue}$	<i>měrná ztráta z vytápěného prostoru do venkovního prostředí nevytápěným prostorem</i>	W/K

$H_{V,i}$	<i>součinitel návrhové tepelné ztráty větráním</i>	W/K
I_D	<i>Intenzita sluneční přímé radiace</i>	W/m ²
I_d	<i>Intenzita sluneční difúzní radiace</i>	W/m ²
I_O	<i>celková intenzita sluneční radiace</i>	W/m ²
L_{WA}	<i>hladina akustického výkonu</i>	dB
M	<i>Energetický výdej</i>	W/m ²
m	<i>součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou</i>	-
N	<i>štitkový výkon elektromotoru</i>	W
n_{50}	<i>intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa</i>	h ⁻¹
n_{min}	<i>minimální intenzita výměny venkovního vzduchu</i>	h ⁻¹
P	<i>celkový příkon svítidel včetně ztráty v předřadníku</i>	W
P_c	<i>celková tlaková ztráta anemostatu</i>	Pa
Q_L	<i>hodnota tepelné zátěže citelným teplem</i>	W
Q_m	<i>Produkce tepla od technologie</i>	W
Q_{SV}	<i>Produkce tepla od svítidel</i>	W
Q_Z	<i>hodnota tepelné zátěže citelné ztráty</i>	W
R_{se}	<i>odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce</i>	m ² .K/W
R_{si}	<i>odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce</i>	m ² .K/W
R_T	<i>Odpor konstrukce při prostupu tepla</i>	m ² .K/W
s	<i>stínící součinitel</i>	-
S	<i>plocha stěny</i>	m ²
S_O	<i>plocha okna včetně rámu</i>	m ²
S_{OS}	<i>osluněný povrch okna</i>	m ²
$t_{i,s}$	<i>teplota interiéru sousední místnosti</i>	°C
t_{max}	<i>maximální teplota</i>	°C
t_{min}	<i>minimální teplota</i>	°C
t_{opt}	<i>optimální teplota</i>	°C
t_p	<i>teplota přívodního vzduchu</i>	°C
t_r	<i>rovnocenná sluneční teplota venkovního vzduchu</i>	°C
t_{rm}	<i>průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin</i>	°C
$t_{r\psi}$	<i>rovnocenná sluneční teplota v době o ψ dřívější</i>	°C
U	<i>součinitel prostupu tepla</i>	W/m ² .K
$U_{equiv,k}$	<i>korekční ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části</i>	W/m ² .K
U_k	<i>součinitel prostupu tepla stavební části</i>	W/m ² .K
U_{kc}	<i>součinitel prostupu tepla zahrnující vliv tepelných mostů</i>	W/m ² .K
U_O	<i>součinitel prostupu tepla oknem</i>	W/m ² .K
V	<i>rychlost proudění vzduchu</i>	m/s
V_c	<i>Množství cirkulačního vzduchu</i>	m ³ /h
V_e	<i>Množství čerstvého vzduchu</i>	m ³ /h
V_i	<i>objem vytápěné místnosti</i>	m ³
$V_{inf,i}$	<i>množství vzduchu infiltrací ve vytápěné místnosti</i>	m ³ /h

v_k	výtoková rychlost	m/s
n_ξ	minimální množství vzduchu k provětrání z hygienických důvodů	m ³ /h
$V_{\min,i}$		
V_O	Množství odpadního vzduchu	m ³ /h
V_p	Návrhový průtok vzduchu	m ³ /h
$V_{p,L}$	průtok potřebný pro pokrytí tepelné zátěže	m ³ /h
$V_{p,Z}$	průtok potřebný pro pokrytí tepelné ztráty	m ³ /h
X	minimální horizontální vzdálenost anemostatů	m
x	měrná vlhkost	g/kg s.v.
z	součinitel znečištění atmosféry	-
α	sluneční azimut	°
δ	sluneční deklinace	-
ΔU	korekční součinitel závisející na druhu stavební části	W/m ² .K
ε_i	výškový korekční činitel	-
η_m	účinnost elektromotoru	%
θ_e	výpočtová venkovní teplota	°C
$\theta_{\text{int},i}$	výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru	°C
λ	tepelná vodivost	W/m.K
ρ	objemová hmotnost	kg/m ³
τ	sluneční čas	h
φ	relativní vlhkost vzduchu	%
ϕ_i	celková návrhová tepelná ztráta prostoru	W
$\phi_{T,i}$	celková tepelná ztráta prostupem tepla	W
$\phi_{V,i}$	celková tepelná ztráta větráním prostoru	W
ψ	činitel lineárních tepelných mostů	W/m.K
ℓ	délka lineárních tepelných mostů	m

P. SEZNAM PŘÍLOH

P1	Výkres č.01 – Půdorys 1.PP	1:100
P2	Výkres č.02 – Půdorys 1.NP	1:100